

Actividad de fallas durante el depósito de la Formación Camarillas (Barremiense) en la subcuenca de Galve (E de España)

Fault activity during the deposit of the Barremian Camarillas Formation in the Galve subbasin (E Spain)

Rocío Navarrete¹, Carlos L. Liesa¹, Ana R. Soria¹ y Juan P. Rodríguez-López²

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España.
rocionav@unizar.es, carluis@unizar.es, anasoria@unizar.es.

² Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/ Nováis s/n, 28040 Madrid, España.
jprodrig@geo.ucm.es.

ABSTRACT

This work analyses the Barremian activity of ENE-WSW normal faults during the sedimentation of the Camarillas Formation in a N-S section of the Galve subbasin. The main structure is characterised by a graben and a half-graben and displays important thickness variations, ranging from 350 m to more than 800 m. The sedimentary record has been divided in six stratigraphic intervals and their thickness changes between sections located in different fault blocks indicate that main faults were active and recorded a general decrease in fault activity during the sedimentation of this formation. This change also implied a different subsidence pattern. Results also demonstrate the interaction process between different faults with activity migrating from one to another.

Key-words: Extensional tectonics, syn-tectonic deposits, differential subsidence, Barremian, Maestrazgo basin.

RESUMEN

En la subcuenca de Galve, fallas normales ENE-OSO (fallas de Remenderuelas, Camarillas y El Batán) fueron activas en el Barremiense, durante la sedimentación de la Formación Camarillas. Estas fallas, analizadas en un corte N-S, definen un graben y un semigraben y permiten explicar las variaciones de espesor en esta formación (de 350 m a más de 800 m). La división del registro sedimentario en seis intervalos estratigráficos y el análisis de sus variaciones de espesor a un lado y otro de las fallas indica que éstas fueron activas y registraron una disminución de su actividad durante la sedimentación de la unidad y un cambio en el patrón de subsidencia. Los resultados también demuestran procesos de interacción en el tiempo entre diferentes fallas.

Palabras clave: Tectónica extensional, depósitos sintectónicos, subsidencia diferencial, Barremiense, Cuenca del Maestrazgo.

Geogaceta, 53 (2013), 61-64.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 12 de julio de 2012
Fecha de revisión: 25 de octubre de 2012
Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2012

Introducción

La Formación Areniscas y Arcillas de Camarillas (Canérot, 1974; Salas, 1987) consiste en una potente serie de arcillas rojas con intercalaciones de areniscas rojas y blancas y, en menor proporción, calizas y margas grises. Ha sido interpretada como depositada en ambientes fluviales con retoques mareales a techo (Salas, 1987; Soria, 1997) y datada como Barremiense a partir de asociaciones de caráceas (Martín-Closas, 1989; Soria, 1997) y ostrácodos (Schudack y Schudack, 2009). Representa la segunda de las unidades sedimentarias, después de la Formación El Castellar, con la que se inicia el relleno de la subcuenca de Galve (Fig. 1) (Soria, 1997; Liesa *et al.*, 2004, 2006),

individualizada en la etapa de *rifting* Jurásico superior-Cretácico inferior, que caracterizó la evolución de la Cuenca del Maestrazgo (Salas y Casas, 1993; Capote *et al.*, 2002). De hecho, durante el Barremiense se registran las mayores tasas de subsidencia tectónica, como lo indican las curvas de subsidencia de numerosas cuencas del centro-este de Iberia (Álvaro, 1987; Sánchez Moyá *et al.*, 1992; Salas y Casas, 1993). A partir de los cambios de espesor y de facies de la Formación El Castellar, Liesa *et al.* (2006) sitúan en esta unidad la transición entre las etapas inicial y de climax del *rifting* (según Prosser, 1993). Siguiendo esta interpretación, la Formación Camarillas se habría depositado durante la etapa de *climax*, es decir, cuando la subsidencia tectó-

nica es máxima y por tanto también sus efectos sobre el registro sedimentario. Aunque se han evidenciado importantes variaciones de espesor de esta formación en relación con fallas (p.e., Soria, 1997), no hay hasta el momento trabajos que lo analicen en detalle. El objetivo de este trabajo es avanzar en el conocimiento de las relaciones tectónica-sedimentación durante el Barremiense y caracterizar, en la medida de lo posible, la historia de actividad de las fallas.

Marco geológico

La subcuenca de Galve representa un área de sedimentación marginal de la cuenca del Maestrazgo (Fig. 1). La estructura cretácica de esta subcuenca se esta-



Fig. 1.- Localización de la subcuenca de Galve y principales fallas activas durante la etapa de rifting del Jurásico superior-Cretácico inferior en la cuenca del Maestrazgo (modificada de Capote *et al.*, 2002).

Fig. 1.- Location of the Galve subbasin and main active faults during the Late Jurassic-Early Cretaceous rifting stage in the Maestrazgo Basin (modified from Capote *et al.*, 2002).

bleció a partir de los cambios de espesor del Cretácico inferior (Fms. El Castellar, Camarillas y Artoles) y de observaciones estructurales sobre fotografía aérea y mapa geológico y está caracterizada por dos familias de fallas (Soria, 1997; Soria *et al.*, 1998; Liesa *et al.*, 2000, 2004, 2006). La primera, de orientación NNO-SSE, se corresponde con fallas subverticales (p.e. Falla de Miravete), heredadas de la fracturación tardihercínica, y definen una estructura de tipo *graben*. Las fallas de la segunda familia, de orientación ENE-OSO y lístricas, fueron neoforzadas durante este periodo y compartimentaron el *graben* definido por las anteriores.

La zona de estudio (Fig. 2A) se localiza en el flanco occidental de un anticlinal NNO-SSE, en cuyo núcleo se sitúa el cabalgamiento de Aliaga-Miravete. Dicho cabalgamiento resulta de la inversión de la falla de Miravete, que representó el margen oriental de la subcuenca cretácica (Soria, 1997). Las capas en este flanco tienen una disposición subvertical, de modo que la imagen observada en cartografía, fotos aéreas o imágenes de satélite se asemeja a un corte geológico N-S realizado antes de la formación del pliegue, dando una visión de la estructuración interna de la subcuenca cretácica producida por las fallas ENE-OSO. En la imagen de satélite (Fig. 2A) también se reconocen tres fallas principales, que de N a S son: Remenderuelas (FR), Camarillas (FC) y El Batán (FEB). Dichas fallas separan zonas con diferencias de espesor en la For-

mación Camarillas. Las dos primeras con buzamiento al sur y la tercera al norte (Fig. 2B). En conjunto, la estructura extensional cretácica podría describirse como formada por un *semigraben* (de Remenderuelas) asociado a la falla de Remenderuelas, al norte, y un *graben* (de Camarillas), al sur, definido por las otras dos fallas.

Estratigrafía

En la zona de estudio y en distintas posiciones estructurales se levantaron seis perfiles estratigráficos, cinco de ellos abarcan toda la Fm. Camarillas (Fig. 2A). La figura 2B muestra la correlación de dichos perfiles, que está basada además en observaciones de campo y en la interpretación de la imagen de satélite, lo que ha permitido reconocer y situar las principales fallas y los dispositivos geométricos que éstas confieren al registro sedimentario. El *datum* es un nivel de areniscas de 3-5 m de espesor y geometría tabular caracterizado por una dioturbación en su base y que puede seguirse a lo largo de toda la zona de estudio (Navarrete *et al.*, 2012). Su localización a techo de la formación ha permitido filtrar las deformaciones posteriores (como la compleja estructura del entorno de la Falla de Camarillas y la falla menor antitética al sur de la misma) y ha facilitado el reconocimiento en la serie infrayacente de las deformaciones asociadas a las fallas principa-

les. En la Fm. Camarillas se han diferenciado tres partes atendiendo a la proporción de arcillas frente a las areniscas, de modo que en la parte intermedia ésta es mucho mayor. Además del *datum*, el reconocimiento de dos niveles de calizas (niveles 6 y 11, Fig. 2B) a lo largo de la zona ha permitido, a su vez, subdividir la parte superior en cuatro partes. En conjunto, la Fm. Camarillas se ha dividido en seis tramos (ver Fig. 3).

Análisis de la subsidencia diferencial

La importancia de la subsidencia diferencial en relación con las fallas puede obtenerse de las variaciones de espesor de la formación, 300-400 m en muchos perfiles (1, 4 y 6) y supera los 700 m (perfiles 2 y 3) en el *graben* de Camarillas (Fig. 2B). En el esquema de correlación también queda patente en la parte norte la geometría en cuña abierta hacia la falla de Camarillas de la serie sedimentaria.

Para un estudio más completo de los cambios de espesor y por tanto de la subsidencia diferencial en relación con las fallas principales, además de los perfiles estratigráficos, hemos utilizado cuatro columnas de control, extrapoladas a partir del esquema de correlación (C1 a C4, Fig. 2B). Los resultados obtenidos indican que los espesores de cada tramo muestran un patrón similar de variaciones de espesores, de modo que los perfiles (P2 y P3) y columnas de control (C3 y C4) situados en el *Graben de Camarillas* también registran mayor espesor de sedimentos que el resto para los tramos inferiores (1 a 4) de la serie (Fig. 3A). Sin embargo, en los dos tramos superiores (5 y 6) los perfiles situados en el *Semigraben de Remenderuelas* (P1, C1 y C2) registran mayores espesores.

Esta variación del patrón de subsidencia también queda patente si analizamos las variaciones de espesor de los tramos en relación con las fallas (Fig. 3B, C). De este modo, los tramos 1 a 4 tienen un patrón de subsidencia muy similar, con mayores espesores en los bloques hundidos de las fallas normales de Remenderuelas (FR), Camarillas (FC) y El Batán (FEB). Y en los bloques superiores, al acercarse a la falla, hay adelgazamientos e incluso erosiones locales (tramo 1 en C2, Fig. 3B, C), asociadas con rotaciones de bloques de falla. En cambio, los tramos 5 y 6, registran un leve incre-

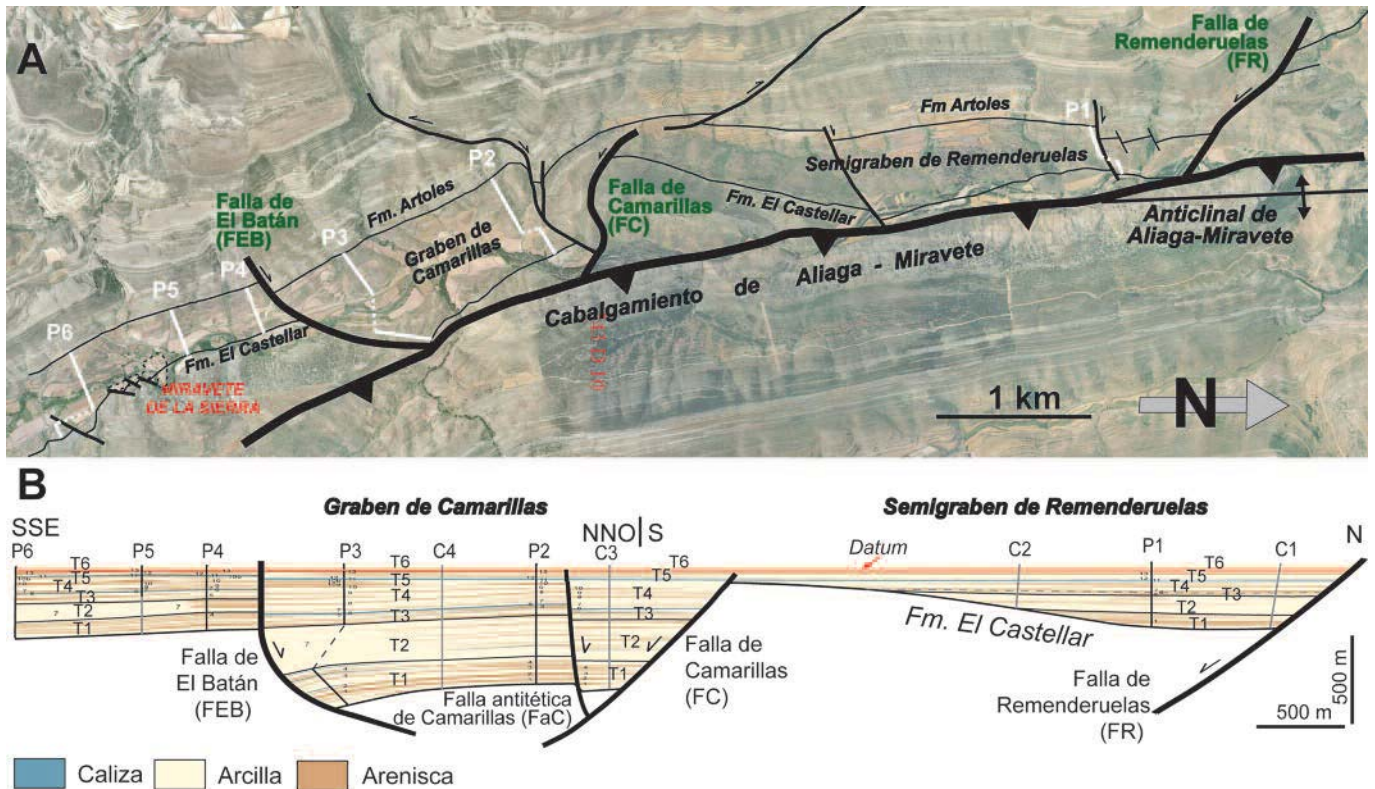


Fig. 2.- Cartografía fotogeológica y panel de correlación de la Formación Camarillas. A) Imagen de satélite de la zona de estudio (ver situación en figura 1) con la localización de las series estratigráficas estudiadas (P1 a P6) y las principales fallas reconocidas. Imagen de satélite obtenida en el Servicio de Información Territorio de Aragón (SITAR). B) Panel de correlación de los seis intervalos estratigráficos (T1 a T6) separados en la Formación Camarillas.

Fig. 2.- Photogeological mapping and correlation panel of the Camarillas Formation. A) Satellite image of the studied area (see figure 1) showing the location of the studied stratigraphical series (P1 to P6) and the main faults. Satellite image obtained from the Servicio de Investigación Territorial del Aragón (SITAR). B) Correlation sketch of the stratigraphic intervals (T1 to T6) distinguished within the Camarillas Formation.

mento de los espesores sólo en relación con la falla de El Batán y hacia la Falla de Remenderuelas.

La historia del movimiento de una falla puede analizarse con los cambios de espesor de las unidades entre su bloque superior e inferior, de modo que el cambio de espesor (*Percentage interval change, I*) viene dado por:

$$I = 100 (I_h - I_f) / I_f$$

donde I_f es el espesor del intervalo estratigráfico en el bloque inferior de una falla normal e I_h el espesor del mismo intervalo en el bloque superior (Williams *et al.*, 1989). Este cálculo no ha sido posible realizarlo para la Falla de Remenderuelas por no disponer de registro en su bloque inferior. Los resultados pueden expresarse gráficamente representado los cambios de espesores frente a la cronoestratigrafía (Beach, 1984). En nuestro caso, y por no disponer de dataciones, hemos representado el cambio de espesores en relación con la columna estratigráfica, asumiendo, por tanto, una tasa de sedimentación promedio constante. Los resultados obtenidos (Fig.

3D) muestran que la falla de Camarillas (FC) tiene gran actividad durante los tramos 1 a 4, con una tendencia general a disminuir, y su actividad cesa durante el depósito de los tramos 5 y 6. La falla de El Batán (FEB) está activa durante todos los tramos pero con dos claros picos en los tramos 2 y 4. En el primer caso coincide con un mínimo en la actividad de la FC. La FEB muestra, en general, menor actividad que la FC por lo que representaría el margen menos activo del *graben de Camarillas*. La falla menor antitética de la falla de Camarillas (FaC) está activa fundamentalmente durante los tramos superiores de la serie (T4 a T6), es decir, cuando está disminuyendo y cesa la actividad de la FC. En conjunto, todas las fallas muestran una clara disminución de la actividad hacia el techo de la Fm. Camarillas.

Conclusiones

El estudio presenta datos novedosos sobre la actividad de la fracturación extensional y un análisis tectono-sedimentario durante el Barremiense, definiéndose dos

estructuras principales: el *graben de Camarillas* y el *semigraben de Remenderuelas*. Los resultados indican que las fallas principales (FR, FC, y FEB) son activas durante el depósito de la Fm. Camarillas, con una tendencia general a disminuir su actividad; la FC cesa su actividad durante los tramos 5 y 6, pero en estos momentos se activa una falla menor antitética (FaC). Dada la estrecha relación entre subsidencia tectónica y extensión los resultados sugieren que la extensión es importante, aunque no constante, y con tendencia a disminuir hacia el techo de la Fm. Camarillas. Estos resultados apoyan la propuesta de que la etapa de *climax del rifting* ya hubiera comenzado con anterioridad al inicio del depósito de esta formación.

Agradecimientos

Agradecemos las constructivas revisiones de J. Galindo y F. Alonso-Chaves. Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (proyecto CGL2011-23717) y por el Gobierno de Aragón (grupos de investigación *Geotransfer* y *Análisis*

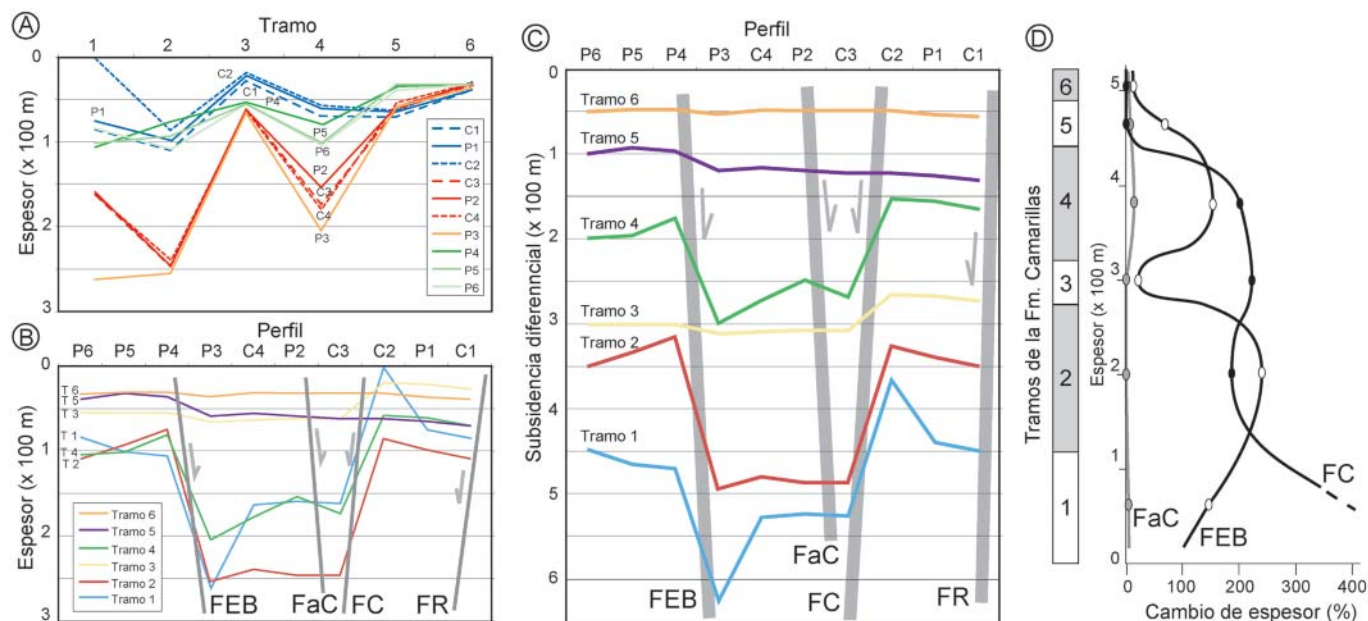


Fig. 3.- Análisis de los cambios de espesor de la Fm. Camarillas. A) Espesor de los perfiles estratigráficos y columnas de control según los intervalos estratigráficos (tramos) distinguidos. B) Cambios de espesor de cada tramo y localización de las fallas normales activas. C) Idem, pero expresado según la subsidencia diferencial. D) Historia de movimientos de las fallas obtenidos a partir de los cambios de espesor que producen en los intervalos estratigráficos (en ordenadas se indica el espesor medio de los tramos).

Fig. 3.- Analysis of thickness variations of the Camarillas Formation. A) Thickness of the stratigraphic and control profiles considering the stratigraphic intervals. B) Thickness changes for each stratigraphic interval and location of active normal faults. C) Idem, but it is expressed as differential subsidence. D) Percentage interval change plot showing the movement history of faults (the stratigraphic intervals average thickness is showing in the ordinate axis).

de Cuenas Sedimentarias Continentales). R. Navarrete disfruta una beca (B019/10) del Gobierno de Aragón.

Referencias

Álvaro, M. (1987). *Geogaceta*, 3, 34-37.
 Beach, A. (1984). *Journal of the Geological Society, London*, 141, 621-628.
 Canérot, J. (1974). *Recherches géologiques aux confins des chaînes Ibériques et Catalane (Espagne)*. Tesis Doctoral, Univ. de Toulouse. Publ. ENADIMSA, Trabajos de Tesis, 4, 517 p.
 Capote, R., Muñoz, J.A., Simón, J.L., Liesa, C.L. y Arlegui, L.E. (2002). En: *Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). The Geological Society London, 367-400.
 Liesa, C.L., Soria, A.R. y Meléndez, A. (2000). En: *Lake basins through space and time* (E.H. Gierlowski-Kordesch y K.R. Kelts, Eds.). AAPG Studies in Geology, 46, 295-302.

Liesa, C.L., Casas, A.M., Soria, A.R., Simón, J.L. y Meléndez, A. (2004). En: *Itinerarios Geológicos por Aragón* (F. Colombo, C.L. Liesa, G. Meléndez, A. Pocoví, C. Sancho y A.R. Soria, Eds.). Geo-Guías, 1, 151-180.
 Liesa, C.L., Soria, A.R., Meléndez, N. y Meléndez, A. (2006). *Journal of the Geological Society, London*, 163, 487-498.
 Martín Closas, C. (1989). *Els caròfits del Cretaci inferior de les conques perifèriques del bloc del'Ebre*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 581 p.
 Navarrete, R., Rodríguez, J.P., Liesa, C.L. y Soria, A.R. (2012). En: EGU General Assembly, 2012. Geophysical Research Abstracts, 14, EGU2012-5736, 2012.
 Prosser, S. (1993). En: *Tectonics and Sequence Stratigraphy* (G.D. Williams y A. Dobb, Eds.). Geological Society of London, Special Publication, 71, 147-165.
 Salas, R. (1987). *El Malm i el Cretaci inferior*

entre el Massís de Garraf i la Serra D'Espadà. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 345 p.
 Salas, R. y Casas A. (1993). *Tectonophysics*, 228, 33-55.
 Sánchez Moyá, Y., Sopena, A., Muñoz, A. y Ramos, A. (1992). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 5, 21-40.
 Schudack, U. y Schudack, M. (2009). *Journal of Iberian Geology*, 35, 141-168.
 Soria, A.R. (1997). *La sedimentación en las cuencas marginales del surco ibérico durante el Cretácico inferior y su control estructural*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 363 p.
 Soria, A.R., Liesa, C.L. y Meléndez, A. (1998). En: 15th International Sedimentological Congress. Abstracts, 731-732.
 Williams, G.D., Powell, C.M. y Cooper, M.A. (1989). En: *Inversion Tectonics* (M.A. Cooper y G.D. Williams, Eds.). The Geological Society London, 3-15.