

Inversión cenozoica de la Cuenca mesozoica del Maestrat: evolución cinemática del cinturón de pliegues y cabalgamientos desarrollado en su margen norte (Cadena Ibérica oriental)

Cenozoic inversion of the Mesozoic Maestrat Basin: kinematic evolution of the fold-and-thrust belt developed in its northern margin (Eastern Iberian Chain)

M. Nebot¹ y J. Guimerà¹

¹ GEOMODELS Research Institute, Departament de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona (UB), Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain. marinanebotmiralles@gmail.com, joan.guimera@ub.edu.

Resumen: La Cuenca del Maestrat fue una de las más subsidentes del Sistema de Rift Ibérico durante el Jurásico superior-Cretácico inferior. Se generó mediante un sistema de fallas extensivas que la dividían en sub-cuencas. Este sistema se invirtió durante el Cenozoico, desarrollándose el Cabalgamiento de Zócalo del Maestrat, que atraviesa la cuenca de E a W, con vergencia N, como resultado de la inversión de la falla basal mesozoica en el zócalo. Al alcanzar la cobertera mesozoica, este cabalgamiento se propagó por el nivel de despegue del Muschelkalk medio, transportando la cobertera supra-salina, y los segmentos de fallas normales a través de ésta, hacia el NNE, unos 11-13 km. El cabalgamiento resultante se deduce que tiene una geometría de rampa-rellano, con una rampa de bajo ángulo que alcanza una profundidad de unos 8 km, enraizada en la corteza superior. El desplazamiento del zócalo en el bloque superior de esta rampa generó una zona elevada de 40 km de ancho en dirección N-S, limitada al norte por el monoclinial de Calders, que se interpreta como un pliegue de adaptación al paso de rampa a rellano de la falla en el zócalo, y que marca también el tránsito de un estilo estructural de piel gruesa al S, a piel fina al N. El acortamiento en superficie se acumuló en el margen norte de la cuenca, donde la cobertera es más delgada, formando el cinturón de pliegues y cabalgamientos de Portalrubio-Vandellòs.

Palabras clave: Inversión tectónica, cinturón de pliegues y cabalgamientos, relieve tectónico, rampa de bajo ángulo, Cadena Ibérica.

Abstract: The Maestrat basin was one of the most subsident basins of the Iberian Rift system during the Late Jurassic-Early Cretaceous, generated by a normal fault system which divided it into sub-basins. The E-W-trending, N-verging Maestrat Basement Thrust developed during its Cenozoic inversion, traversing the entire basin, as a result of the inversion of the Mesozoic fault system within the basement. As this thrust reached the Mesozoic cover, it propagated across the Middle Muschelkalk detachment level, transporting the supra-salt cover, and the normal fault segments within it, about 11-13 km towards the North. The basement thrust is deduced to have a ramp-flat geometry, with a low dip ramp which reaches 8 km depth, rooted in the upper crust. The displacement of the basement in the hanging wall of this ramp generated a 40 km-wide uplifted area, in the N-S direction, bounded to the N by the Calders monocline, interpreted as a fault-bend-fold adapted to the ramp to flat transition in the basement thrust. It also indicates the transition from a thick-skinned style of deformation in the S, to a thin-skinned style to the N. The superficial shortening accumulated in the northern margin of the basin, containing the thinnest Mesozoic cover, developing the Portalrubio-Vandellòs fold-and-thrust belt.

Key words: Basin inversion, fold-and-thrust belt, tectonic relief, low-dip ramp, Iberian Chain.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se sitúa en la Zona de Enlace (Guimerà, 1988) entre la Cadena Ibérica, de orientación NW-SE, y la Cadena Costera Catalana, de orientación NE-SW (Fig. 1). Dichas cadenas son el resultado de la inversión cenozoica del Sistema de Rift Ibérico desarrollado durante el Mesozoico. La Cuenca del Maestrat es una de las más subsidentes del sistema de Rift Ibérico durante el Jurásico superior-Cretácico inferior, con espesores de hasta 6.5 km de la serie

mesozoica (Salas y Guimerà, 1996). La inversión contractiva cenozoica de la cuenca originó en su margen norte el cinturón de pliegues y cabalgamientos de Portalrubio-Vandellòs (Guimerà, 1988) de orientación aproximadamente E-W y vergencia N, despegado a favor de las evaporitas del Triásico, mientras que hacia el sur también involucra el zócalo varisco.

El objetivo de este trabajo es estudiar el paso de un estilo estructural de piel gruesa a piel fina, así como

caracterizar las estructuras desarrolladas durante cada episodio de deformación, para finalmente establecer la evolución cinemática de la zona. Con este propósito, se han tenido en cuenta datos nuevos de superficie y los datos de subsuelo disponibles, que constan de sondeos y perfiles sísmicos. El análisis de estos datos ha permitido proponer un modelo de evolución cinemática para el margen norte de la Cuenca del Maestrat. También se ha podido hacer una reconstrucción de las principales sub-cuencas en que se encontraba dividida durante el Mesozoico y de las estructuras que las limitaban, así como de las estructuras contractivas desarrolladas durante el Cenozoico, pudiéndose establecer la relación entre ambas.

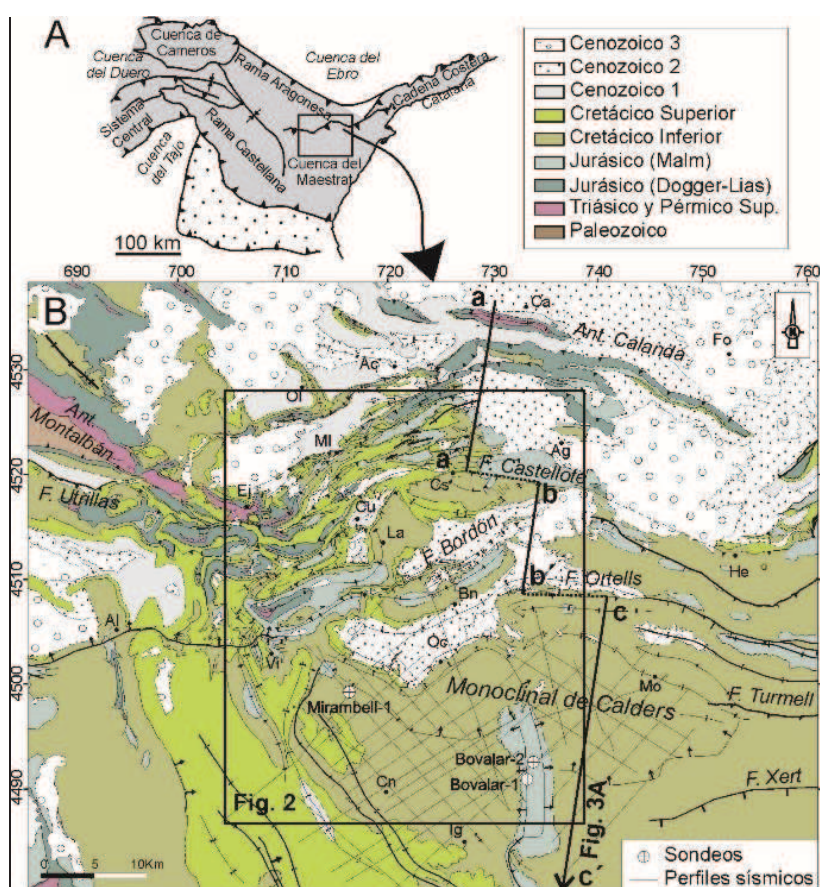


FIGURA 1. A: Mapa estructural esquemático de la Cadena Ibérica. En gris, áreas con zócalo involucrado; en punteado, áreas con sólo la cobertura involucrada. B: Mapa geológico de la zona de estudio, situada en la Zona de Enlace entre la Cadena Costera Catalana y la Cadena Ibérica.

CONTEXTO GEOLÓGICO

El Sistema de Rift Ibérico se desarrolló durante el Mesozoico y experimentó dos máximos de actividad extensiva: durante el Pérmico superior-Triásico, relacionado con la propagación hacia el oeste del sistema de rift del Tethys y hacia el S del sistema de rift Ártico-Atlántico norte, y durante el Oxfordiense superior-Albiense superior, relacionado con la apertura del Atlántico norte y el Golfo de Vizcaya. Ambos episodios extensivos fueron seguidos de episodios de menor actividad extensiva durante el Hettangiense superior-Oxfordiense y el Cretácico superior-Paleoceno (Salas *et al.*, 2001, 2010). Durante el Paleógeno, este sistema extensivo se invirtió, relacionado con la Orogenia Alpina. La inversión de la Cuenca del Maestrat dio lugar a la Zona de Enlace, de orientación mayoritariamente E-W, y al cinturón de pliegues y cabalgamientos de Portarubio-Vandellòs en su parte

frontal que, en la zona estudiada, presenta una geometría en arco convexo hacia el antepaís. Este cinturón de pliegues y cabalgamientos está despegado a favor de las evaporitas triásicas (Muschelkalk medio, mayoritariamente, y Keuper), aunque hacia el sur, el cabalgamiento basal pasa a involucrar el zócalo en una franja E-W (Zona de Falla del Turmell, Salas y Guimerà, 1996) en la que se produce un escalón tectónico de entre 800 y 1200m (González *et al.*, 1998; Nebot y Guimerà, 2016a).

EXTENSIÓN MESOZOICA

Durante el Malm y el Cretácico inferior, la Cuenca del Maestrat quedó dividida en diversas sub-cuencas limitadas por fallas fundamentalmente normales. En la zona estudiada, se pueden distinguir las sub-cuencas de la Salzedella y de Ladruñán, limitadas por fallas normales de diversas orientaciones conectadas por rampas de relevo (Fig. 2A). El espesor de los materiales sin-extensivos, en el conjunto del margen norte de la cuenca disminuye hacia el N, aunque en cada sub-cuenca aumenta de espesor hacia el N, hacia las fallas normales inclinadas hacia el S que las limitan (Fig. 2B). En la zona más externa de la cuenca, situada al norte de la falla de Castellote, el Cretácico inferior varía entre 0 y 300 m, donde se han interpretado fallas normales que se relevan y que generan pequeñas cuencas de Cretácico inferior sinformes y transversales a las fallas.

ESTRUCTURA CONTRACTIVA CENOZOICA

La Zona de Enlace se puede dividir en tres grandes sectores, atendiendo al estilo estructural observado (Fig. 3B). El más meridional está poco deformado, y contiene una extensa zona elevada de unos 40 km de anchura en dirección N-S, donde predominan los pliegues laxos de longitudes de onda kilométricas, despegados mayoritariamente a favor del Muschelkalk medio y algunos en el zócalo infra-salino. La zona levantada está limitada al norte por el Monoclinal de Calders, de orientación E-W, cuyo flanco frontal buza unos 6° hacia el norte y tiene una anchura de unos 13 km en su parte central, estrechándose lateralmente hasta conectar con dos fallas de zócalo. Este monoclinal se ha explicado como un pliegue de flexión de falla que se adapta a una geometría de rampa-rellano de la falla de zócalo principal. En la parte central o intermedia, situada al norte del monoclinal de Calders, las estructuras también tienen longitudes de onda kilométricas, estando despegadas a favor del Muschelkalk medio, aunque incorporan fragmentos del zócalo infra-salino en las láminas de cabalgamiento. En la parte frontal se desarrolló el cinturón de pliegues y cabalgamientos de Portarubio-Vandellòs (Guimerà, 1988), en que las estructuras son más apretadas, con longitudes de onda de centenares de metros a pocos kilómetros, estando despegado mayoritariamente en las evaporitas triásicas (Fig. 3A).

La dirección de transporte (NNE-SSW) se ha interpretado como perpendicular a la traza del monoclin de Calders (Fig. 3B) y el sentido hacia el antepaís (hacia el NNE) coincidiendo con Guimerà y Álvaro (1990), y siendo perpendicular a la mayoría de las estructuras en la franja central de la zona (Fig. 1). Se ha construido un corte geológico del margen norte de la Zona de Enlace paralelo a la dirección de transporte tectónico (Fig. 3A). Este corte revela un acortamiento mínimo de unos 11 km, aunque teniendo en cuenta la anchura del flanco frontal del Monoclin de Calders en su parte central más extensa, el acortamiento podría llegar a los 13 km. Los extensos afloramientos cenozoicos tardi a postectónicos no permitieron realizar un corte regional continuo, coincidiendo con la parte más ancha del monoclin.

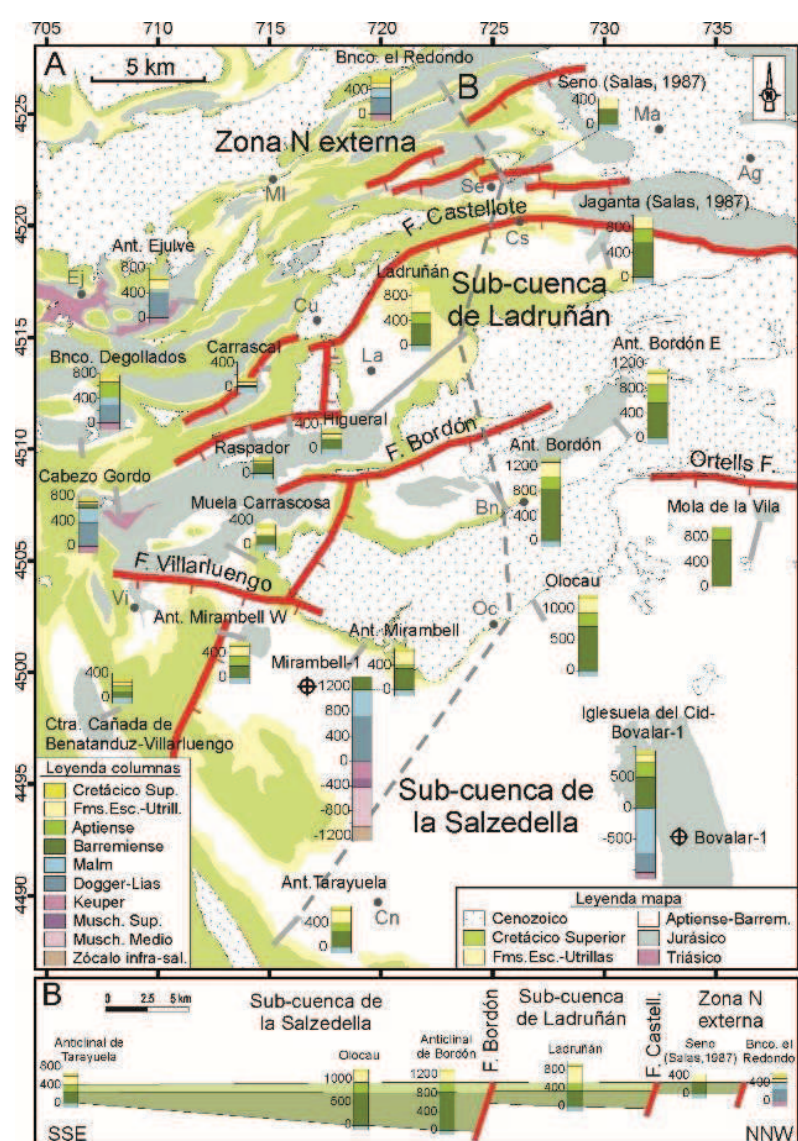


FIGURA 2. A: Columnas estratigráficas simplificadas de la zona de estudio. B: Correlación N-S de las columnas más significativas. Se muestra como a grandes rasgos el relleno sin-extensivo del Cretácico inferior se adelgaza hacia el N, donde se sitúa el margen de la cuenca, controlado por fallas normales que buzcan hacia el S y que dividieron la cuenca del Maestrat en diferentes sub-cuenas.

EVOLUCIÓN CINEMÁTICA

Durante la contracción cenozoica se invirtió el sistema de fallas normales mesozoicas que formó la sub-cuenca de la Salzedella en su tramo a través del zócalo, lo que generó el Cabalgamiento de Zócalo del Maestrat (CZM), que atraviesa la Cuenca del Maestrat

en dirección E-W. Se trata de un cabalgamiento de bajo ángulo, que buza unos 9° hacia el S, alcanzando una profundidad de unos 8 km, y que estaría enraizado en la corteza superior, coincidiendo con Seillé *et al.* (2015). Este cabalgamiento no se propagó a la cobertera supra-salina, sino que desarrolló un *short-cut* sub-horizontal que se propagó hacia el N a través del nivel de despegue del Muschelkalk medio, transportando hacia el N la cobertera supra-salina unos 11-13 km. De este modo, los segmentos de las fallas normales a través de la cobertera supra-salina no se invirtieron por completo, sino que fueron transportados hacia el norte en el bloque superior de esta falla basal. El desplazamiento del zócalo sobre la rampa de bajo ángulo del CZM, levantó un área de unos 40 km de anchura en la dirección N-S, limitada al norte por el Monoclin de Calders, que es la manifestación en superficie del CZM, ya que su charnela S antiforme (Fig. 3B) la interpretamos como la adaptación de la lámina al paso de rampa a rellano del CZM (Fig. 3A). La charnela N sinforme, a grandes rasgos, marca el paso de un estilo estructural de piel gruesa, al S, a un estilo estructural de piel fina al N. La longitud de onda de las estructuras contractivas disminuye hacia el norte, hacia el margen de la cuenca, coincidiendo con un adelgazamiento de la cobertera supra-salina. Ésta fue desplazada hacia el norte despegada en las evaporitas del Muschelkalk medio, incorporando al bloque superior de la falla basal algunos segmentos del zócalo infra-salino, sobre todo en el bloque inferior de las fallas normales principales (Fig. 3A), debido a los cambios bruscos de espesor de la cobertera que éstas generan (Nebot y Guimerà, 2016b).

CONCLUSIONES

La inversión cenozoica de la cuenca extensiva mesozoica del Maestrat generó el Cabalgamiento de Zócalo del Maestrat, resultado de la inversión de la falla basal que enraizaba el sistema de fallas normales mesozoicas. El sector de la falla en el zócalo infra-salino se invirtió, mientras que al alcanzar ésta el nivel de despegue del Muschelkalk medio se propagó a través de éste, transportando la cobertera supra-salina unos 11 a 13 km hacia el norte. El acortamiento se acumuló en superficie mayormente en la parte frontal más externa de la cuenca, coincidiendo con una cobertera más delgada, donde se generó el cinturón de pliegues y cabalgamientos de Portalrubio-Vandellòs. El desplazamiento del zócalo sobre la rampa del CZM generó una amplia zona levantada de unos 40 km de ancho, limitada al norte por el Monoclin de Calders, que es un pliegue de adaptación al paso de rampa a rellano del CZM. El paso de un estilo estructural de piel gruesa al S a piel fina al N coincide con la charnela sinforme frontal del Monoclin de Calders.

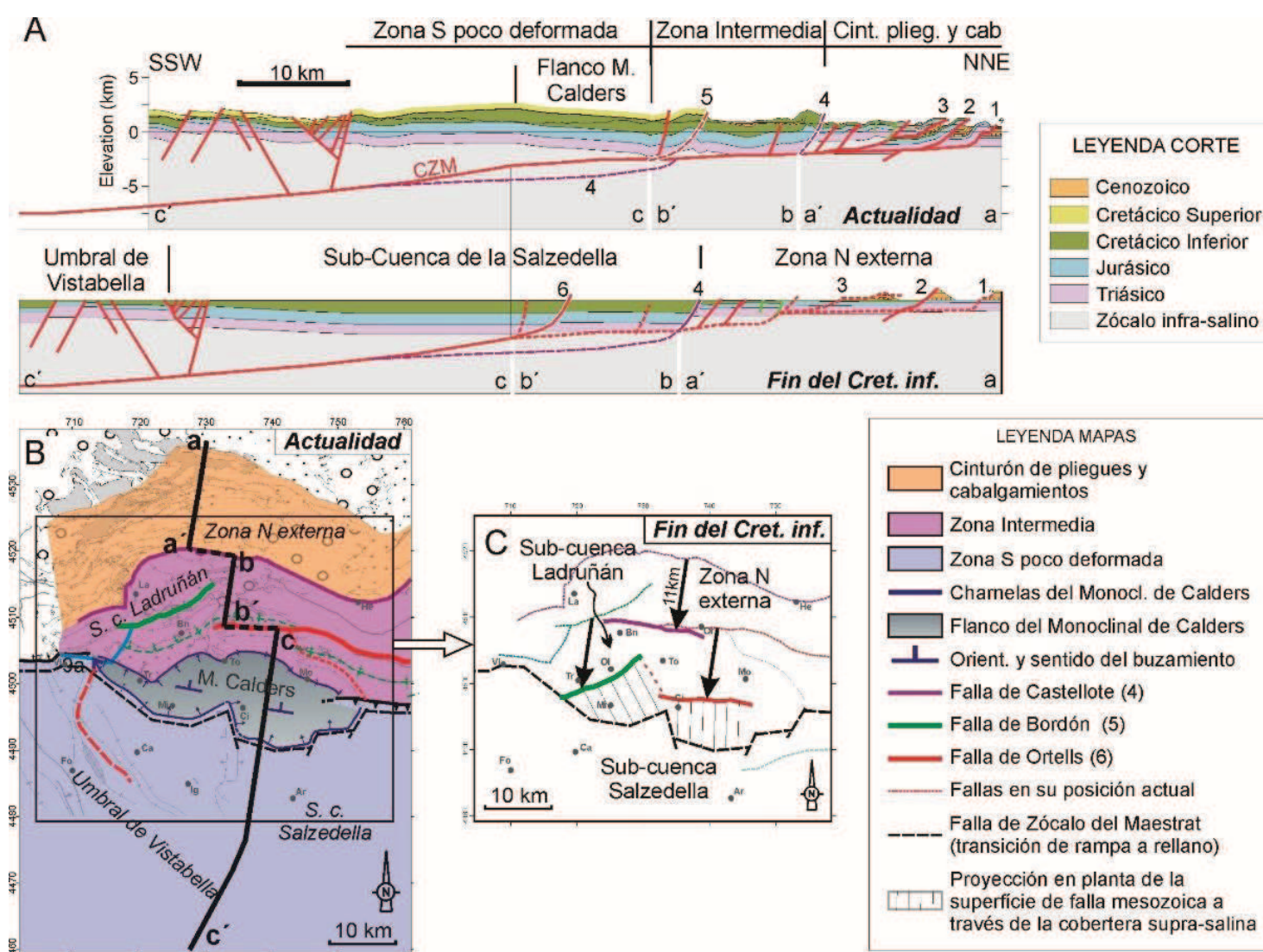


FIGURA 3. A: Corte regional de la parte central del margen norte de la Cuenca del Maestrat. B: Principales estructuras contractivas desarrolladas durante la inversión cenozoica de la cuenca. Diferenciación en zonas según el estilo estructural. El segmento NNE-SSW de la traza del corte contiene la dirección de transporte, deducida como perpendicular a la traza del Monoclin. de Calders. C: Restitución palinspástica, antes de la contracción cenozoica, de las cuencas mesozoicas y las estructuras extensivas que las limitaban durante el Cretácico inferior.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos INTECTOSAL (CGL2010-21968-C02-01/BTE) y CGL2008-04916/BTE. El primer autor agradece a la Universitat de Barcelona la financiación recibida mediante una beca de doctorado APIF.

REFERENCIAS

- González, A., Guimerà, J. y Luzón, A. (1998): Edad Oligoceno superior-Mioceno inferior para las superficies de erosión conservadas en el flanco SW de la cubeta de Bordón (Provincia de Teruel, España). *Geogaceta*, 24: 155-158.
- Guimerà, J. (1988): *Estudi estructural de l'Enllaç entre la Serralada Ibérica i la Serralada costanera Catalana*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 600 p.
- Guimerà, J. y Álvaro, M. (1990): Structure et évolution de la compression alpine dans la Chaîne Ibérique et la Chaîne côtière catalane (Espagne). *Bulletin de la Société Géologique de France*, (8), VI (2): 339-340.
- Nebot, M. y Guimerà, J. (2016a): Structure of an inverted basin from subsurface and field data: the Late Jurassic-Early Cretaceous Maestrat basin (Iberian Chain). *Geologica Acta*. En prensa.
- Nebot, M. y Guimerà, J. (2016b): Kinematic evolution of a fold-and-thrust belt developed during basin inversion: the Mesozoic Maestrat basin, E Iberian Chain. Manuscrito presentado en *Geological Magazine*.
- 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 Guimerà, J. (1996): Rasgos estructurales principales de la cuenca cretácica inferior del Maestrat (Cordillera Ibérica oriental). *Geogaceta*, 20(7): 1704-1706.
- Salas, R., Guimerà, J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A. y Alonso, A. (2001): Evolution of the Mesozoic Central Iberian Rift System and its Cainozoic inversion (Iberian chain). En: *Peri-Tethys memoir, 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins* (P.A. Ziegler, W. Cavazza, A.H.F. Robertson y S. Crasquin-Soleau, eds.). Mém Mus. nat. Hist. Nat., Paris, 186, 145-186.
- Salas, R., García-Senz, J., Guimerà, J. y Bover-Arnal, T. (2010): Opening of the Atlantic and development of the Iberian intraplate rift basins during the late Jurassic-early Cretaceous. En: *II Central and North Atlantic Conjugate Margins Conference*, 245-248.
- Seillé, H., Salas, R., Pous, J., Guimerà, J., Gallart, J., Torne, M., Romero-Ruiz, I., Diaz, J., Ruiz, M., Carbonell, R. y Mas, R. (2015): Crustal structure of an intraplate thrust belt: The Iberian Chain revealed by wide-angle seismic, magnetotelluric soundings and gravity data. *Tectonophysics*, 663: 339-353. Doi: 10.1016/j.tecto.2015