

# Factores principales de control de la sedimentación y los cambios bióticos durante el tránsito Jurásico-Cretácico en la Cadena Ibérica

Main factors controlling sedimentation and biotic change during the Late Jurassic-Early Cretaceous in the Iberian Chain

R. Salas <sup>(1)</sup>, C. Martín-Closas <sup>(2)</sup>, X. Delclòs <sup>(2)</sup>, J. Guimerà <sup>(3)</sup>, M. A. Caja <sup>(1)</sup> y R. Mas <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geoquímica, Petrología i Prospecció Geològica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona. ramonsalas@ub.edu

<sup>(2)</sup> Departamento de Estratigrafía i Geociències Marines. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona. cmartin@geo.ub.es, xdelclos@ub.edu

<sup>(3)</sup> Departamento de Geodinàmica y Geofísica. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès, s/n, 08028 Barcelona

<sup>(4)</sup> Departamento de Estratigrafía. Facultat de Ciències Geològiques, Universidad Complutense. 28040 Madrid.

## ABSTRACT

The Iberian Chain developed by inversion of Mesozoic rifts of the Iberian Basin during the Paleogene. The Maestrat and Cameros basins developed during the Late Jurassic-Early Cretaceous rifting cycle 2. There are two main controls on sedimentation: (1) tectonics, (2) climate, and these together control sea-level and paleoecosystems. Cameros and Maestrat basins display different styles of extensional tectonic structure probably due to a crust thermally weakened. Biotic changes in freshwater plants, continental faunas, and marine carbonate producers, reveal the evolution from Late Jurassic-Earliest Cretaceous climate to show hydrological seasonality in a general warm and humid context. This is confirmed by the coexistence of biotic markers of hydrological stress (closed stomatal structures in plants, small size in animals) with sedimentologic indicators of a long-lasting humid climate (lateritic soils and karstic bauxite deposits). The long-term global sea-level curve fits the main transgressive-regressive evolution of the Maestrat basin with some local tectonic disturbances.

Key words: Iberian Chain, Late Jurassic, Early Cretaceous, climate, extensional tectonics.

Geogaceta, 38 (2005), 15-18  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La Cadena Ibérica se formó por inversión de la Cuenca Ibérica durante el Paleógeno. La Cuenca Ibérica se desarrolló durante el segundo ciclo de *rifting* mesozoico que afectó a las cuencas peritéticas entre el Jurásico superior y Cretácico inferior. Este ciclo se puede subdividir en tres pulsos de *rifting* que controlaron el desarrollo de las cuatro grandes áreas de sedimentación o cuencas muy subsidentes: 1) la cuenca de Cameros, 2) la cuenca del Maestrat (Maestrazgo), 3) la cuenca Sur-Ibérica y 4) la cuenca de Columbrets en la plataforma continental mediterránea. Este ciclo de *rifting* se desarrolló con la deformación extensiva intraplaca que se produjo en relación con la apertura del Atlántico Central y su propagación hacia el dominio del Atlántico Norte. Mientras, en el Golfo de Vizcaya, el régimen tectónico transtensivo culminó en el Aptiense medio con la separación cortical y

el inicio de la apertura oceánica (Salas *et al.*, 2001; Mas y Salas, 2002).

El relleno sedimentario *synrift* sobrepasa los 4 km de potencia en las cuencas del Maestrat y Cameros. En la cuenca del Maestrat la sucesión sedimentaria sinextensiva se caracteriza por el predominio de los depósitos carbonáticos marinos de aguas someras, que fueron interrumpidos por sistemas clásticos generalizados en el Aptiense basal y el Albiense. No obstante, la sedimentación terrígena siliciclástica predomina en el margen occidental de la cuenca durante el intervalo Jurásico terminal – Barremiense medio, con las facies Purbeck y Weald (Salas, 1989; Salas *et al.*, 1995).

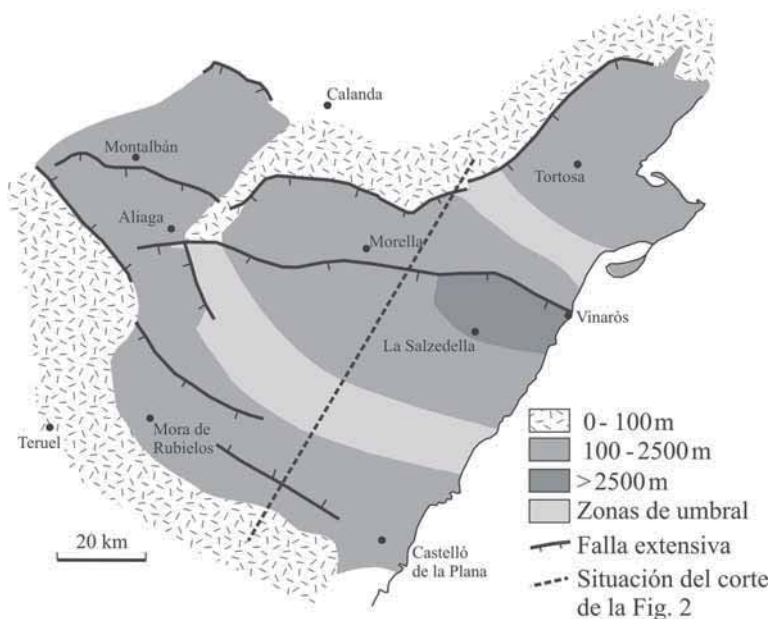
En la cuenca de Cameros el relleno sedimentario está formado principalmente por depósitos fluviales y lacustres, con incursiones marinas someras muy ocasionales (Alonso y Mas, 1993). La cuenca Sur-Ibérica acumuló más de 2 km de sedimentos sinextensivos. La sucesión sedimentaria

los medios continentales, los tipos de plataformas de carbonatos y los organismos marinos productores de carbonato, la pedogénesis y la diagénesis. Para terminar con un ensayo de correlación entre las etapas transgresivo-regresivas y las variaciones globales del nivel del mar.

## Estructura tectónica extensiva

La estructura extensiva de la cuenca de Cameros estuvo controlada por una rampa profunda inclinada hacia el sur, que unía dos rellanos de una falla extensiva principal ciega situada en el zócalo herciniano. El desplazamiento extensivo del bloque superior hacia el sur fue de unos 33 km y produjo una cuenca de geometría sinclinal con la migración de los sucesivos depocentros hacia el norte, resultando en una disposición en *onlap* de los depósitos sinextensivos (Guimerà *et al.*, 1995).

La cuenca del Maestrat fue una cuenca extensiva, limitada por fallas normales



**Fig 1.- Esquema estructural de la cuenca del Maestrat durante el ciclo de rifting Juásico superior-Cretácico inferior (Titónico-Albiense). Se representan las principales fallas que controlaron la cuenca y las variaciones de potencia de sus depósitos. Modificado de Salas y Guimerà (1996).**

*Fig. 1.- Extensional structure of the Maestrat basin during the Late Jurassic-Early Cretaceous rifting cycle (Tithonian-Albian) showing the main faults, which controlled basin development and sediment thickness variations. Modified from Salas and Guimerà (1996).*

(Figs. 1, 2). Dichas fallas se disponen en dos sistemas al norte y al suroeste de la cuenca. Las fallas del sistema septentrional se orientan aproximadamente E-W y buzan hacia el sur; las fallas del sistema meridional, se orientan NW-SE y buzan tanto hacia el NE como hacia el SW. Las fallas del sistema septentrional tuvieron un salto claramente mayor que las del meridional, lo que ocasionó una cuenca asimétrica, con el depocentro principal desplazado hacia el norte.

En el corte sintético presentado (Fig. 2), se ilustra como las variaciones de potencia de los sedimentos pueden ser explicadas asumiendo una geometría lítrica para las fallas de ambos sistemas. La combinación de los *roll-over* producidos en los bloques superiores de los dos sistemas de fallas, ocasionó la formación de las dos subcuenas (de la Salzedella, al norte, y de Penyagolosa, el sur), separadas por un umbral (área de Vistabella) localizado en el sector de menor subsidencia entre los dos *roll-over* opuestos. En las áreas al norte del sistema septentrional y al sur del meridional, la potencia de los materiales *sin-rift* es inferior a 100 m, o no se han sedimentado. Este nuevo modelo estructural para la cuenca del Maestrat es una alternativa al presentado anteriormente por Salas y Guimerà (1996), (1997).

La diferencia de estilos extensivos entre la cuenca de Cameros y la del Maestrat

puede ser debida al comportamiento mecánico diferencial de una corteza debilitada térmicamente.

#### **Cambios bióticos en los medios acuáticos continentales**

La importante expansión que presentaron los medios acuáticos continentales a partir del Titónico repercutió en una diversificación de las biotas acuáticas. En las Cadenas Ibéricas se observa inicialmente una diversificación de los grupos heredados que fue seguida de una aparición de nuevos grupos, ya en el Cretácico inferior. La importante diversificación de los organismos de agua dulce se puede relacionar con la existencia de numerosos ecosistemas compartimentados, producidos por el *rifting* coetáneo.

#### **Flora acuática**

A partir de Jurásico superior, las carofitas se diversificaron notablemente y sus restos calcificados son los principales componentes de las calizas no marinas del tránsito Jurásico-Cretácico. Así, a partir del grupo ancestral de las «porocaráceas» se originaron las primeras caráceas en el Oxfordiense y las clavatoráceas en el Titónico. Este último grupo tendría una importante expansión en las cuencas más cálidas de la Tetis, y concretamente en la Cadenas Ibérica, durante el Neocomiense y

Barremiense (Martín-Closas, 2000; Martín-Closas y Diéguez, 1996), mientras que las «porocaráceas» ancestrales fueron relegadas a las aguas relativamente más frías de las cuencas lacustres boreales o a lagunas litorales salobres de algunas cuencas ibéricas como en Cameros y Maestrat. También se diversificaron otros grupos de algas verdes, como las conjugadas (zygnematales) en el bentos y las clorococales en el plancton. No obstante la principal consecuencia de la expansión de los medios acuáticos continentales en este periodo fue la colonización de los lagos por parte de nuevos grupos de vegetales. Por primera vez en la historia de la vida, las plantas vasculares pasaron a formar parte de las biotas acuáticas. En el Barremiense de las Serranía de Cuenca se han citado los primeros restos fósiles de angiospermas acuáticas (*Montsecchia vidali*, *Proteaephyllum*) y también los primeros «pteridófitos» hidrofíticos *Thomsonia*). La consecuencia de esta colonización tardía fue que las comunidades acuáticas de fisiognomía paleofítica, dominadas por carofitas, pasaron en pocos millones de años a adquirir una fisiognomía cenofítica, dominada por angiospermas, sin un intermedio de floras mesofíticas, ya que las «gimnospermas» nunca han desarrollado hidrofíticos (Martín-Closas, 2003). En las Cadenas Ibéricas este cambio está mal caracterizado pero en cuencas europeas y norteamericanas próximas la sustitución de unas floras por otras culminó en el Albiense.

#### **Fauna acuática**

La escasez de registro paleobiológico continental en la Península Ibérica durante buena parte del Jurásico, hace difícil una comparación exhaustiva entre las faunas jurásicas y las del Cretácico inferior. Sólo en algunos grupos acuáticos continentales, o relacionados con el medio acuático como crustáceos, insectos, peces y cocodrilos, se puede hablar de cambios macroevolutivos durante este tránsito. En los ecosistemas del Cretácico inferior mejor conservados de las Cadenas Ibéricas (Las Hoyas), la diversidad y disparidad de faunas acuáticas es muy grande aunque dominan algunos grupos, como los heterópteros y coleópteros. El clima cálido, con una estacionalidad hídrica marcada, condicionó la distribución de las poblaciones cretácicas. El estrés hídrico, promovió una gran selección de la fauna, así como el enanismo más o menos generalizado en grupos de vida prolongada como peces y cocodrilos (Delclòs *et al.* 2004). Paralelamente algunos grupos de insectos terrestres, como neurópteros, ortópteros y otros grupos, presentan gigantismo, espectaculares trazas de coloración u otras adap-

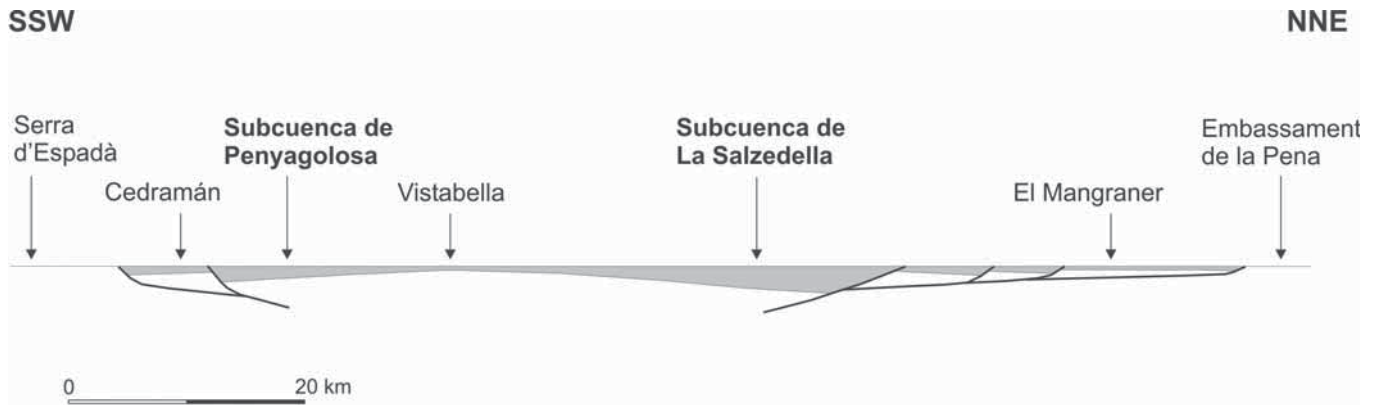


Fig. 2.- Corte estructural sintético de la cuenca del Maestrat restituido a la base de la sucesión *postrift* albiense superior-senoniense. Ver situación en la Fig. 1.

Fig. 2.- Synthetic structural cross-section restored at the base of the Albian-Senonian *postrift* succession. For location see Fig. 1.

taciones que se han asociado a un clima cálido (Martínez-Delclòs *et al.*, 1995, Nel *et al.*, 2004). La presencia de termitas y cocodrilos está de acuerdo con estas condiciones térmicas.

El registro fósil de crustáceos continentales del Cretácico Inferior está representado principalmente por ostrácodos y decápodos. Entre los primeros aparece una amplia representación de géneros y especies que se incluyen en el denominado «*Cypridea* dominated faunicycle», característico de las facies *weald dulceacuícolas*; entre los segundos domina el género *Austropotamobius*, que se localiza todavía en los medios fluviales o deltaicos actuales de España, mientras que durante el Cretácico inferior dominó en los lagos oligotróficos.

La importante compartimentación de las cuencas continentales durante el Cretácico Inferior, indujo a la especiación de los insectos. Esto provocó importantes diferencias entre las paleontofaunas de los yacimientos de Las Hoyas (Cadenas Ibéricas) y El Montsec (Pirineo), ambos del Barremiense, pero con muy pocas especies compartidas y ninguna de ellas acuática. En esta época también existe un cambio importante en la evolución de las redes tróficas, aparecen grupos de dípteros con estadios larvarios planctónicos como los quironómidos y caobóridos que formaran a partir de ahora y hasta la actualidad, la mayoría del macrozooplancton. Éste será esencial para la dieta de los peces lacustres e insectos carnívoros, que se diversificaran enormemente.

La totalidad de los yacimientos de peces jurásicos del tránsito Bajociense-Calloviense son marinos, mientras que a partir del Titónico son de agua dulce. Durante el Cretácico Inferior dominan los peces de medios transicionales o lacustres, coincidiendo con la extensión de los medios acuáticos no marinos del tránsito Jurásico – Cretácico. En este periodo se observa una

tendencia muy generalizada a la sustitución de formas de peces actinoptergios no halecóstomos y de halecóstomos no teleósteos por teleósteos (Poyato-Ariza *et al.* 1999). Los primeros son abundantes en diversidad (seguramente heredada del Jurásico), mientras que los teleósteos dominan en número de ejemplares.

Los restos de cocodrilos encontrados en el Jurásico Superior de la Península Ibérica pertenecen fundamentalmente a formas marinas, en cambio durante el Cretácico inferior son mucho más diversos, con formas terrestres, probablemente arbóreas, hasta formas de pequeño tamaño relacionadas con los cocodrilos modernos, y adaptados a la vida anfibia.

#### Tipos de plataformas de carbonatos y organismos productores

En la cuenca del Maestrat se pueden distinguir hasta cinco grandes tipos de plataformas de carbonatos: 1) Rampa homoclinal oxfordiense (hasta 30 m), con bancos marginales oolítico-bioclásticos, wackestones de esponjas y ammonites y mudstones de protoglobigerinas. Esta plataforma fue ahogada por la combinación de la subsidencia tectónica rápida y la subida eustática del mar kimmeridgiense; 2) Rampa distalmente acentuada kimmeridgiense (hasta 750 m), con mudstones tableados, arrecifes de corales y algas, montículos de esponjas y margas anóxicas; 3) Plataforma somera muy bien diferenciada de tipo rampa durante el Titónico-Berriasiense (hasta 1000 m), con extensas llanuras de marea y bajíos franjeantes oolítico-bioclásticos que pasan a facies más abiertas de calpionélidos; 4) Del Valanginiense al Barremiense inferior se desarrollaron plataformas someras con grandes aportes de agua dulce en sus sectores marginales (estuario). La producción de carbonatos estuvo dominada por moluscos y algas

calcáreas y abundaron los bancos oolítico-bioclásticos con rudistas y algunos arrecifes coralinos (hasta 1000 m) y 5) Durante el Barremiense superior y hasta el Aptiense terminal, se formaron plataformas expansivas y someras (hasta 1600 m) con un alto grado de progradación, probablemente relacionado con la elevada capacidad de producción de los organismos productores de sedimento carbonático, tales como: orbitolinas, algas calcáreas, rudistas y corales, entre otros. El grado de desarrollo alcanzado por los arrecifes de corales y algas y las facies de rudistas fue considerable durante esta etapa (Mas y Salas, 2002; Aurell *et al.*, 2003).

De acuerdo con Pomar (2000) estos tipos de plataformas de carbonatos pueden ser agrupadas en dos grandes conjuntos temporales, teniendo en cuenta el grado de dependencia de los organismos bentónicos productores de sedimento carbonático con respecto a la penetración de la luz: 1) Etapa de biotas oligofóticas (Oxfordiense-Valanginiense), formadas principalmente por organismos autótrofos y mixotrofos que vivían en ambientes con niveles de luz bajos (moluscos, crinoideos, esponjas, briozoos, macroforaminíferos, etc.), y 2) Etapa de biotas eufóticas (Hauteriviense-Aptiense), constituidas mayoritariamente por organismos autótrofos y mixotrofos que necesitaban condiciones de luz relativamente altas (corales, algas verdes, rudistas, estromatopóridos, etc.) y vivían en ambientes de aguas someras (zona eufótica).

#### Indicadores climáticos

Durante gran parte del Cretácico, Iberia estuvo bajo la influencia de un clima cálido, similar a los climas actuales de 20° a 25° de latitud (Rat, 1982). Según los mapas paleogeográficos de Dercourt *et al.* (1986), la cuenca del Maestrat estuvo situada concretamente a una paleolatitud aproximada de entre 26 y 27,5° N durante el



Barremiense-Aptiense. Por otro lado, los indicadores paleoclimáticos señalan la presencia de largos intervalos húmedos con una estacionalidad significativa en la pluviometría (climas monzónicos). De esta forma, en el Barremiense de la Zona de Enlace entre las cordilleras Ibérica y Costera Catalana se desarrollaron bauxitas kársticas y arcillas lateríticas en perfiles edáficos bien desarrollados (Salas *et al.*, 2004). Las condiciones ideales para la formación de bauxitas fueron determinadas por el clima (humedad estacional y temperatura elevadas), la geomorfología y la tectónica (Bárdossy y Aleva, 1990; Molina y Salas, 1993). El estrés hídrico en determinados periodos del Cretácico inferior ya fue descrito por Masse (1976) y Ruffell y Batten (1990) y en las Cadenas Ibéricas este aspecto ha sido confirmado por datos paleobotánicos de plantas vasculares con adaptaciones xeromórficas (Díez *et al.*, 1995; Gomez *et al.*, 2002) y por la presencia de determinados taxones de la fauna terrestre con adaptaciones características de climas áridos (Delclòs *et al.*, 2004). La posible alternancia de estaciones húmedas y secas podría explicar las secuencias de somerización y de expansión-retracción lacustre existentes en la Fm. Castellar (Soria, 1997) y La Huérguina (Fregenal-Martínez, 1998).

La relación clima-diagénesis también puede aportar datos paleoclimáticos. Así, en las arcosas y areniscas de las facies Weald, un proceso temprano (eodiagenético) sería la precipitación de caolinita en la porosidad existente, con un hábito vermicular que estaría relacionado con la acción de aguas meteóricas con bajo pH. Las condiciones climáticas estacionalmente húmedas existentes en el Cretácico inferior habrían favorecido el aporte de las grandes cantidades necesarias de agua meteórica (Caja, 2004).

#### Etapas transgresivas, regresivas y variaciones del nivel del mar

El registro Oxfordiense-Kimmeridiense inferior constituye un episodio transgresivo en el dominio de la Cadena Ibérica. Mientras que la sucesión kimmeridiense superior-berriasiense tiene carácter regresivo. En conjunto, el intervalo Berriasiense-Hauteriviense continúa con el carácter regresivo, interrumpido únicamente por un pulso transgresivo menor durante el Valanginiense inferior, que avanzó desde el Tetis. Desde el Hauteriviense terminal al Aptiense se produjo la mayor transgresión del Cretácico inferior, interrumpida por una corta regresión en la base del Aptiense (correlacionada con la anomalía M0), que terminó con la gran regresión Albiense. La aceleración de la subsidencia tectónica a partir del

Oxfordiense y el Hauteriviense terminal facilitó las dos transgresiones desde el Atlántico y el Tetis (Aurell *et al.*, 2003; Salas *et al.*, 2001; Mas y Salas 2002).

Si se compara la posición estratigráfica de estas etapas transgresivas y regresivas con la curva eustática global propuesta por Haq *et al.* (1987), se observa que en general las etapas transgresivas se corresponden con periodos de subida del nivel del mar y las regresivas con periodos de bajada eustática. Sin embargo, hay algunos tramos en los cuales no se cumple esta correlación, lo cual se podría explicar por la acción de la subsidencia tectónica local que modificaría la acomodación del sedimento.

#### Agradecimientos

Este trabajo forma parte de los proyectos de investigación: BTE2002-04453-C02-01, PGC2001-0173, PGC2001-0185 y es una contribución del *Grup de Recerca Consolidat de Geologia Sedimentària* (2001 SGR 00075).

#### Referencias

- Alonso, A. y Mas, R. (1993). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 17, 285-310.
- Aurell, M., Robles, S., Rosales, I., Quesada, S., Meléndez, A., Bádenas, B. y García-Ramos, J.C. (2003). *Sedimentary Geology*, 162, 239-261.
- Bárdossy, G. y Aleva, G.J.J. (1990). *Developments in Economic Geology*, 27, Amsterdam, Elsevier.
- Caja, M.A. (2004). *Procedencia y diagénesis de los sedimentos del Jurásico superior-Cretácico inferior (facies Weald) en las subcuencas occidentales de la Cuenca del Maestrazgo, Cordillera Ibérica Oriental*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 293 p.
- Delclòs, X., Martín-Closas, C., Buscalioni, A.D., Fregenal-Martínez, M.A., de la Fuente, M., Gomez, B., Poyato-Ariza, F.J., y Soriano, C. (2004). *Geo-Temas*, 6, 39-42.
- Dercourt, *et al.* (1986). *Tectonophysics*, 123, 241-315.
- Fregenal-Martínez, M.A. (1998). *Análisis de la cubeta sedimentaria de Las Hoyas y su entorno paleogeográfico (Cretácico inferior, Serranía de Cuenca)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid.
- Gomez, B., Martín-Closas, C., Barale, G., Solé De Porta, N., Thévenard, F. y Guignard, G. (2001). *Palaeontology*, 45, 997-1036.
- Guimerà, J., Alonso, A. y Mas, R. (1995). *Geological Society of London Special Publication*, 88, 433-453.
- Haq, B. U., Handbol, J. y Vail, P. R., (1987). *Science*, 235, 1156-1167.
- Martín-Closas, C. (2000). *Arxius de les Seccions de Ciències, Institut d'Estudis Catalans*, 125, 304 p.
- Martín-Closas, C. (2003). *Geologica Acta*, 1, 315-338.
- Martín-Closas, C. y Diéguez, C. (1996). *Palaeontology*, 41, 1133-1152
- Martínez-Delclòs, X., Nel, A. y Popov, Y.A. (1995). *Journal of Paleontology*, 69, 496-508
- Mas, R. (1981). *Seminarios de Estratigrafía*, Serie Monografías, 8, 1-476.
- Mas, R. y Salas, R. (2002). En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). Geological Society of London, 284-288.
- Masse, J. P. (1976). *Les calcaires urgoniens de Provence*. Tesis Doctoral, Univ. de Marseille, 445 p.
- Molina, J. M. y Salas, R. (1993). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 17, 207-230.
- Nel, A., Azar, D., Martínez-Delclòs, X. y Makhoul, E. (2004). *European Journal of Entomology*, 101, 145-151.
- Pomar, L. (2000). *Basin research*, 13, 313-334.
- Poyato-Ariza, F.J., Buscalioni, A.D. y Cartanyà, J. (1999). En: *Mesozoic Fishes 2 – Systematics and Fossil Record* (Arratia, G. y Schultze, H.P., Eds.). Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 505-533.
- Rat, P. (1982). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8, 1059-1076.
- Ruffell, A.H. y Batten, D.J. (1990). *Palaeogeology, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 80, 197-212.
- Salas, R. (1989). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 13, 121-158.
- Salas, R., Martín-Closas, C., Querol, X., Guimerà, J. y Roca, E. (1995). En: *El Cretácico inferior del nordeste de Iberia* (R. Salas y C. Martín-Closas, Eds.). Publicacions de la Universitat de Barcelona, 13-94.
- Salas, R. y Guimerà, J. (1996). *Geogaceta*, 7, 1704-1706.
- Salas, R. y Guimerà, J. (1997). *Boletín Geológico y Minero de España*, 4-5, 397-402.
- Salas, R., Guimerà, J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A. y Alonso, A. (2001). En: *Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins* (P.A. Ziegler, W. Cavazza, A.F.H. Robertson y S. Crasquin-Soleau, Eds.). Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle, 186, 145-185.
- Salas, R., Vaquer, R. y Travé, A. (2004). *Geo-Temas*, 6, 123-126.
- 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.