

# Depósitos de tormenta en una rampa carbonatada: implicaciones sobre el origen del fango carbonatado acumulado en su zona distal (Kimmeridgiense, Cuenca Ibérica)

*Storm deposits in a carbonate ramp: implications in the origin of the carbonate mud accumulated in distal ramp (Kimmeridgian, Iberian basin)*

B. Bádenas

Área de Estratigrafía, Dpto. Ciencias de la Tierra, Univ. Zaragoza, 50009-Zaragoza

## ABSTRACT

*Facies distribution and sedimentary processes in a storm dominated carbonate ramp (Kimmeridgian, northern Iberian basin) is studied in detail. Shallow ramp areas are dominated by coral reef facies. They grade basinward into muddy facies, that have different storm deposits (storm lobes and bars, proximal tempestites and distal tempestites). The analysis of the relationship between these deposits along to the study of the composition of the carbonate grains, allow us to conclude that most of the coarse grain were produced in the reefal dominated areas. Downslope sediment transport was due to storm induced density currents. A significant part of the mud accumulated offshore may be also resedimented in origin. Downslope transport in the studied ramp was favoured by its windward orientation.*

**Key words:** storm deposits, carbonate mud, Kimmeridgian ramp, Iberian basin

Geogaceta, 24 (1998), 31-34  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Durante el Kimmeridgiense, la sedimentación en la Cuenca Ibérica tuvo lugar en una rampa carbonatada de gran extensión lateral, abierta hacia el Sureste. La rampa se desarrolló en una plataforma epicontinental. En este tipo de plataformas se asume generalmente que los flujos inducidos por las mareas y el oleaje de buen tiempo estaban muy atenuados (Tucker y Wright, 1990). Sin embargo, los flujos de tormenta pudieron ejercer un importante control en la sedimentación en la rampa, dada su orientación a barlovento respecto a los huracanes y los vientos de invierno (ver reconstrucciones paleoclimáticas en Marsaglia y Klein, 1983 y Price *et al.*, 1995).

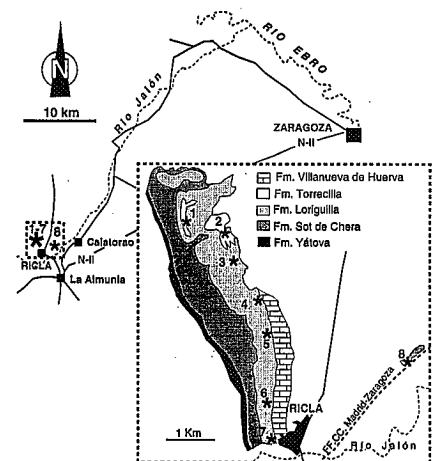
En los dominios distales de la rampa Kimmeridgiense se acumularon fangos carbonatados, representados en la Fm. Ritmita calcárea de Loriguilla. El origen del fango carbonatado de las zonas de rampa media y externa ha sido atribuido tradicionalmente a tres procesos: (1) producción autóctona por microorganismos (actividad microbiana), (2) sedimentación pelágica a partir de nannoplancton calcáreo, (3) resedimentación del fango originado en las zonas someras. En el caso de la Fm. Loriguilla, no existen evi-

dencias de producción autóctona por microorganismos y la presencia de nannoplancton calcáreo es escasa. Bádenas *et al.* (1993) y Aurell *et al.* (1995) proponen que gran parte del fango carbonatado de la Fm. Loriguilla se originó en las zonas someras de alta productividad de carbonato y fue resedimentado mar adentro por efecto de las tormentas. El transporte de fango carbonatado como sedimento en suspensión fue sugerido previamente por Gómez *et al.* (1971) y Salas (1989).

Para determinar la posible influencia de las tormentas en el origen del fango carbonatado es necesario encontrar afloramientos que permitan analizar la relación entre las facies someras de la rampa y el fango carbonatado de su zona distal. Este es el caso de los afloramientos situados al Norte de la localidad de Ricla (Zaragoza), que constituyen una sección transversal a la rampa, de 6 km de longitud, desde los dominios relativamente someros, al Norte, hasta los dominios relativamente distales, al Sur (Fig. 1), donde se observa la relación de cambio lateral de facies entre la Fm. Loriguilla y las facies más someras de la rampa (Fm. Calizas con corales de Torrecilla). Desde el punto de vista estratigráfico-secuencial, estos materiales corresponden al cortejo

transgresivo de una secuencia de depósitos de edad Kimmeridgiense superior *p.p.*-Titónico inferior (Secuencia Kimmeridgiense-2: Bádenas, 1997 y Bádenas *et al.*, 1998).

En el presente trabajo se realiza el



**Fig. 1-** Situación geográfica y geológica, en la que se muestra la distribución de los perfiles estudiados. Obsérvese la relación de cambio lateral de facies entre la Fm. Torrecilla y la Fm. Loriguilla.

*Fig. 1- Geographical and geological setting, showing the location of the studied sections. Notice the lateral facies transition between Torrecilla Fm. and Loriguilla Fm.*

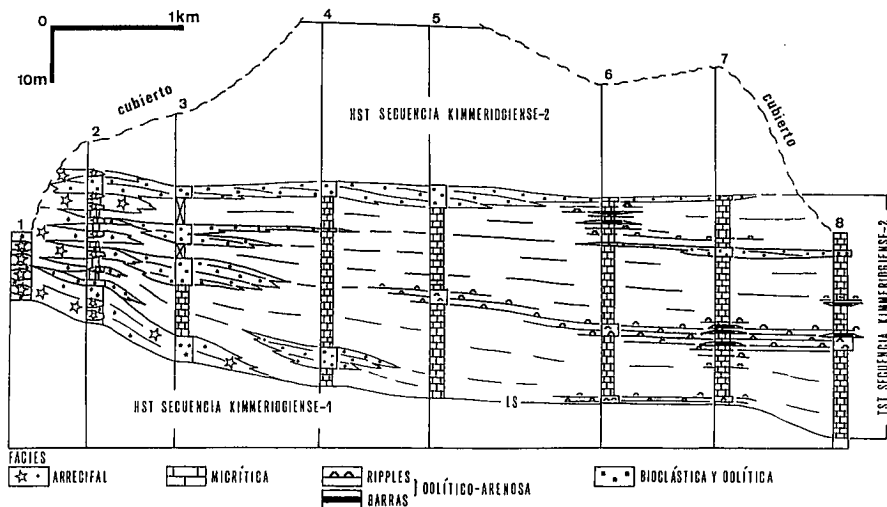


Fig. 2- Representación sintética y correlación de los perfiles realizados, en la que se muestra la distribución de las cuatro facies diferenciadas.

Fig. 2- Synthetic representation and correlation of the studied sections, showing the distribution of the four differentiated facies.

análisis de la distribución de facies en los afloramientos de Ricla. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que los flujos de tormenta ejercieron un importante papel en la distribución y el tipo las facies y permiten aportar datos a favor del origen resedimentado del fango carbonatado.

**Descripción e interpretación de las facies**

El análisis de facies se ha realizado en ocho perfiles cuya correlación se muestra en la Fig. 2. La Fm. Torrecilla está representada por facies arrecifales que se

interdigitan y pasan distalmente a facies micríticas (Fm. Loriguilla), en las que se encuentran intercalados diversos tipos de depósitos de tormenta.

**Facies arrecifal.** Está constituida por framestone de corales, chaetétidos y algas con morfología de *patche* de potencia métrica, y niveles de 0.5 m de potencia de floatstone y rudstone con intraclastos y fragmentos de las bioconstrucciones. Las bioconstrucciones son edificios coralinos aglutinados por algas (costras microbianas), con restos fragmentados de organismos coloniales (rara vez en posición de crecimiento) y cavidades con sedimento interno de textura wackestone. Sobre los

fragmentos de organismos coloniales y la costra microbiana aparecen perforaciones por bivalvos litófagos. Los fragmentos de corales se originaron por bioerosión y erosión por corrientes y tormentas. Gran parte de los mismos permanecieron en la bioconstrucción por el efecto cementador de las costras, pero otros fueron resedimentados e incorporados a los sedimentos interarrecifales (niveles de floatstone y rudstone) o a facies laterales.

**Facies micrítica.** Está constituida por mudstone en niveles de 0.2 m a 0.7 m de potencia, con interestratos margosos y margocalcáreos. En estos materiales se reconocen trazas de bioturbación *Chondrites* y *Rhizocorallium* y estructuras y depósitos originados por flujos de tormenta.

**Estructuras swalley-hummocky.** Los techos de los niveles de mudstone muestran morfologías onduladas de gran radio, y en ocasiones se reconocen acuñamientos de las capas y lenticulas aisladas de pocos metros de longitud. Estas morfologías pudieron originarse por la acción de flujos oscilatorios de tormenta sobre los sedimentos fangosos semiconsolidados (ver también Aurell y Nieva, 1988). Esta interpretación es coherente con la presencia de trazas que se desarrollan sobre fondos cohesivos (*Chondrites*, Rodríguez-Tovar, 1993).

**Tempestitas distales.** En el interior de los niveles de mudstone y especialmente en los perfiles distales, aparecen abundantes láminas limosas, y en menor medida bioclásticas y oolíticas. Su espesor (milimétrico a centimétrico) y estructuras (base erosiva planar u ondulada, grada-

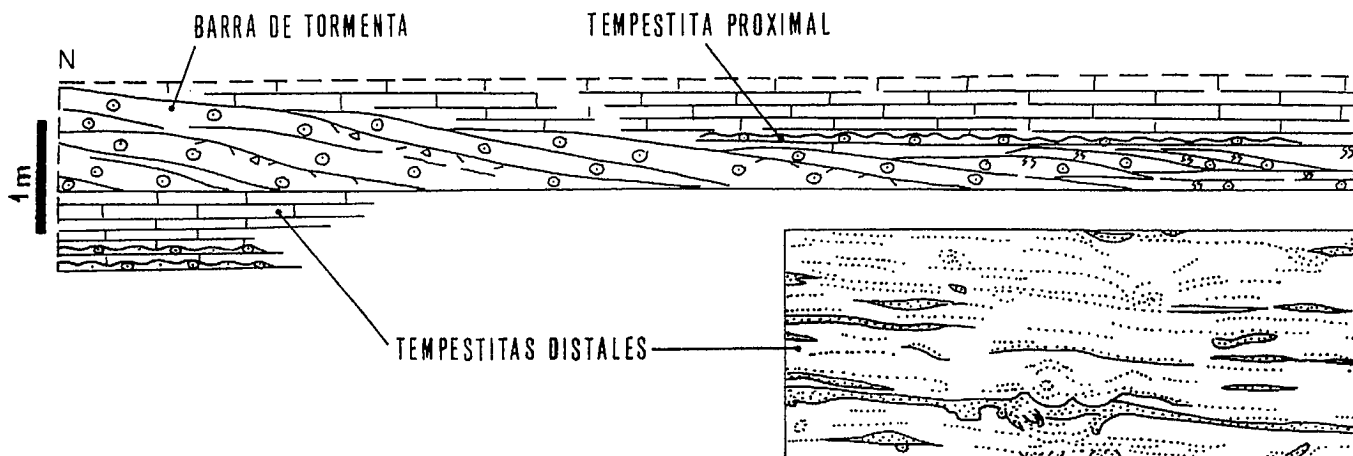


Fig. 3- Ejemplos de depósitos de tormenta de la facies oolítico-arenosa. Hacia el sentido de la paleocorriente, las barras de tormenta muestran ángulos de buzamiento paulatinamente más bajos y mayor desarrollo de la bioturbación, y pasan lateralmente a tempestitas proximales y en último término a la facies micrítica. Las tempestitas distales están constituidas por láminas limosas bioturbadas.

Fig. 3- Examples showing some features observed in the storm deposits (oolitic-sandy facies). Downslope, the storm bars show both progressively lower inclination angles and larger burrowing. They lateraly change to proximal tempestites and, eventually, to micritic facies. Distal tempestites consists of burrowed silty layers.

ción y laminación horizontal y cruzada de bajo ángulo) permite interpretarlas como tempestitas distales. Estos depósitos están bioturbados y pueden erosionar conductos de bioturbación y niveles de tempestitas previos (Fig. 3). La presencia ocasional de *ripples* simétricos de crestas rectas (de orientación Este-Oeste) a techo de las láminas, indica la acción de flujos oscilatorios, probablemente durante la relajación de la tormenta (Aigner, 1985; Molina *et al.*, 1986-87).

**Facies oolítico-arenosa.** Intercalados en la facies micrítica se reconocen niveles de packstone y grainstone oolítico-arenosos, ocasionalmente bioclásticos, que corresponden a tres tipos de depósitos de tormenta:

**Barras y lóbulos de tormenta.** Se trata de niveles con estratificación cruzada planar constituidos por un único set de 1 m de potencia máxima y hasta 0.5 km de extensión lateral. El set muestra estratos cruzados de morfología sigmoidal. Las características de las superficies de progradación (ángulo de buzamiento menor de 30°, contactos tangenciales con la base del set, y presencia de bioturbación, encostramientos y acumulación de clastos), así como la ausencia de señales de avalancha, indica que la migración de las barras se debió a procesos de acreción y que su avance fue episódico. El sentido de progradación es dominante hacia el Sur, lo que señala que la migración de las barras tuvo lugar por la acción de flujos unidireccionales de alta energía dirigidos mar adentro. El descenso de la energía de los flujos hacia el sentido de la paleocorriente viene reflejado por la reducción progresiva del ángulo de las superficies de progradación, el mayor desarrollo de bioturbación y encostramientos, que indica períodos de detención de las barras de mayor duración, y por el hecho de que el sedimento es progresivamente más fangoso, reflejando el cambio lateral hacia la facies micrítica (Fig. 3). Además, se observa que las barras pasan lateralmente a niveles de *ripples*. En último término se produce la estabilización de la barra y el relieve dejado por la misma es rellenado por fangos carbonatados.

**Tempestitas proximales.** Se trata de niveles de trenes de *ripples* simétricos con longitud de onda de hasta 1 m y altura de hasta 15 cm, y gran continuidad lateral (hasta 2 km). Estos depósitos se interpretan como tempestitas proximales retrabajadas por la acción de flujos oscilatorios (olas de tormenta). La orientación de las crestas es perpendicular al sentido de progradación de las barras, lo que indica que ambas estructuras fueron

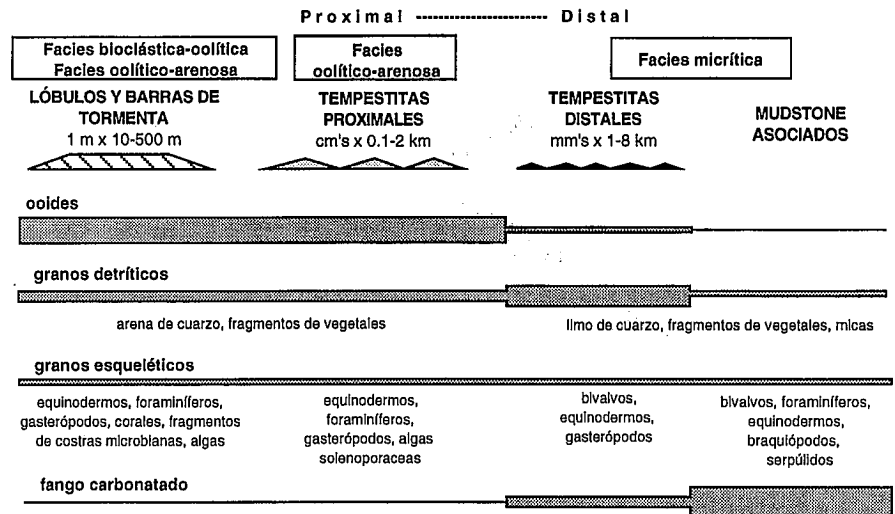


Fig. 4- Relación proximalidad-distal entre los diferentes depósitos de tormenta. Se indica el espesor, extensión lateral y composición y proporción relativa de los componentes de cada uno de los depósitos.

Fig. 4- Proximal-distal relationship between the different storm deposits. Thickness, lateral extension, and composition and relative proportion of the grains in each deposit is indicated.

originadas por flujos de similar dirección (Fig. 3).

**Estructuras swalley-hummocky.** Ocasionalmente aparecen niveles tabulares de hasta 0.5 m de potencia, en los que se reconocen estructuras *swalley-hummocky*, de longitud de onda de orden métrico. Éstas se originaron por el retrabajamiento de los depósitos de tormenta por olas de tormenta.

**Facies bioclástica y oolítica.** Se trata de packstone y grainstone bioclásticos y oolíticos, en los que destaca la abundancia de fragmentos de corales e intraclastos de la facies arrecifal. Aparecen en niveles con estratificación cruzada de bajo ángulo, de potencia inferior a 1 m, que muestran superficies de progradación bioturbadas y encostradas y laminas con acumulación de bioclastos y granos de cuarzo. Se reconocen también niveles tabulares de 0.5 m de potencia, con trazas *Thalassinoides*, laminación paralela, *ripples* simétricos y superficies encostradas. Al igual que en la facies anterior, estos depósitos se interpretan como barras y lóbulos de tormenta.

#### Relación lateral entre las facies

La presencia de estructuras y depósitos originados por flujos de tormenta y la ausencia de estructuras debidas al oleaje de buen tiempo, permite interpretar que el depósito de las facies tuvo lugar por debajo del nivel del oleaje de buen tiempo y por encima del nivel de base de oleaje de tormentas (rampa media). En la

zona proximal de la rampa media tiene lugar el crecimiento de bioconstrucciones arrecifales que pasan distalmente a fangos micríticos con depósitos de tormenta intercalados.

El análisis de facies permite definir la rampa estudiada como una rampa dominada por tormentas. Los flujos de tormenta producirían la destrucción parcial de las bioconstrucciones y transportarían parte de los fragmentos, que se acumularían en los sedimentos interarrecifales (niveles de floatstone y rudstone de corales), o bien serían resedimentados a otras zonas de la rampa. Teniendo en cuenta el sentido de progradación de las barras y lóbulos de tormenta, se deduce que los flujos que determinaron su migración fueron flujos unidireccionales de resaca de tormenta. Estos originarían además corrientes densas que transportarían mar adentro el sedimento erosionado en las zonas someras, dando lugar a los niveles de tempestitas.

La distribución de las facies a lo largo de la sección estudiada, permite establecer una relación de proximalidad-distal entre los lóbulos y barras de tormenta, las tempestitas proximales y las tempestitas distales (Fig. 4). Mar dentro, los depósitos de tormenta presentan menor potencia y mayor extensión lateral. Además, existe una variación lateral en el tipo de componentes presentes en los depósitos de tormenta. Así, los ooides son el componente predominante en los lóbulos de tormenta y en las tempestitas proximales, mientras que en las

tempestitas distales es mayor la proporción de los granos de cuarzo tamaño arena fina y limo. En los fangos carbonatados la proporción de estos componentes es baja. Esta variación indica una segregación por tamaños durante su transporte mar adentro, más que una variación del área fuente. Ambos hechos reflejan una atenuación progresiva de los flujos que originaron estos depósitos, de modo que las mayores distancias de resedimentación corresponden a los componentes de grano fino.

Otro aspecto interesante es analizar la procedencia de los componentes que se encuentran en los depósitos de tormentas. Los ooides (la mayor parte ferruginizados y fragmentados) y la arena de cuarzo procederían de facies más someras (rampa interna), de las que no existe control por afloramiento. La mayor parte de los bioclastos son alóctonos. En este sentido cabe destacar la presencia de fragmentos de corales y costras microbianas, que proceden de las bioconstrucciones arrecifales presentes en las zonas proximales de la rampa media. El afloramiento estudiado permite medir una distancia mínima de resedimentación para estos componentes de grano grueso de 4 a 6 km.

#### Implicaciones sobre el origen del fango carbonatado

Al igual que ocurre con los fragmentos de corales y de las costras microbianas presentes en los depósitos de tormenta, el fango carbonatado de la facies micrítica pudo originarse en los ambientes arrecifales. A diferencia de lo que ocurre con los granos gruesos, generalmente no es posible interpretar el origen de los granos micríticos a

partir de su observación petrográfica. La única salvedad la constituyen los granos de origen pelágico (nannoplancton calcáreo), cuya presencia en la facies micrítica es muy ocasional. Ello indica que en la zona de rampa media donde tuvo lugar su depósito, la producción pelágica de carbonato fue probablemente escasa.

Por otra parte, el análisis de facies ha puesto de manifiesto que existe una clara relación lateral entre la facies arrecifal, los diferentes depósitos de tormenta y la facies micrítica. Estos argumentos permiten plantear la hipótesis de que una proporción importante del fango carbonatado de la facies micrítica se originó en las zonas someras, y fue transportado mar adentro en los flujos y las corrientes densas inducidos por las tormentas, junto con los granos gruesos que se encuentran en las tempestitas. El fango puesto en suspensión durante los flujos episódicos de alta energía, se depositaría en la zona distal de la rampa media. Éste decantaría en las etapas de buen tiempo y sería posteriormente bioturbado. En último término, el fango podría ser transportado hasta la rampa externa (facies de ritmita calcárea, Fm. Loriguilla). El transporte mar adentro del sedimento producido en las zonas someras estaría favorecido por la topografía regular de la rampa y por su orientación a barlovento respecto a los huracanes y las tormentas de invierno.

#### Agradecimientos

Al Dr. Marcos Aurell, por la ayuda prestada en la realización de este trabajo.

#### Referencias

- Aigner, T. (1985): *Lecture notes in Earth Sciences*, 3, Springer-Verlag, Berlín, 174 pp.
- Aurell, M., Bosence, D. y Waltham, D. (1995): *Sedimentology*, 42: 75-94.
- Aurell, M. y Nieva, S. (1988): *Ciencias de la Tierra* (Inst. Est. Riojanos), 11: 283-298.
- Bádenas, B. (1997): *Tesis Licenciatura*, Dpto. Ciencias de la Tierra, Univ. de Zaragoza, 120 pp.
- Bádenas, B., Aurell, M. y Mélenz, A. (1993): *Rev. Soc. Geol. España*, 6: 57-75.
- Bádenas, B., Aurell, M., Pérez-Urresti, I. y Delvene, G. (1998): *Geogaceta*, 24: 35-38.
- Gómez, J.J., Sánchez de la Torre, L. y Rivas, P. (1971): *Cuad. Geol. Ibérica*, 2: 417-424.
- Marsaglia, K.M. y Klein, G. de V. (1983): *Jour. Geol.*, 91: 117-142.
- Molina, J. M., Ruíz-Ortiz, P. A. y Vera, J. A. (1986-87). *Acta Geol. Hispánica*, 21-22: 167-175.
- Price, G. D.; Sellwood, B. W. y Valdes, P. J. (1995): *Sediment. Geol.*, 100: 159-180.
- Rodríguez-Tovar, F. J. (1993): *Tesis Doctoral*, Dpto. Paleontología y Estratigrafía, Univ. de Granada, 377 pp.
- Salas, R. (1987): *Tesis Doctoral*, Dpt. Geol., Petrol. y Prosp. Geol., Univ. de Barcelona, 345 pp.
- Tucker, M. E. y Wright, V. P. (1990). *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scient. Publ., Oxford-London, 482 pp.