

# Registro sedimentario de la influencia mareal en depósitos marinos someros durante la conexión Atlántico-Mediterránea del Tortonense Superior (Cordillera Bética)

*Tidal sedimentary signatures in shallow-marine mixed deposits in the Atlantic-Mediterranean connection (Late Tortonian, Betic Cordillera)*

Fernando García-García<sup>1</sup> y Jesús M. Soria<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaén, España. fegarcia@ujaen.es

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Aptdo. de correos 99, 03080 Alicante, España. jesus.soria@ua.es

## ABSTRACT

*Sedimentary signatures of tidal flow in carbonate-siliciclastic mixed deposits of shallow marine settings are recorded in Upper Tortonian Granada, Guadix and Guadalquivir Basins (Betic Cordillera). Four tidal ranges of sedimentary signatures are typified: (1) First-order, represented by progradational tidal compound dunes consisting of the vertical stacking of second-order sets, (2) Second-order, represented by cross-stratified sands and gravels interpreted as tidal megaripples in shoreface-prodelta and ebb-tidal bars in ramp settings occasionally eroded by ebb-storm currents, (3) Third-order, bundles of alternating of siliciclastic to bioclastic laminae (fourth-order) in foresets of second-order dunes reflecting high-frequency spring to neap tidal cycles. The Upper Tortonian palaeogeographic scenario in Betic Cordillera, characterized by narrow seaways and semiclosed basins connecting the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea, encourages the amplification of the tidal flow and consequent recording of the tidal sign in the sediments.*

**Key-words:** Tidal bar, tidal compound dune, mixed ramp, Tortonian, Betic Cordillera.

## RESUMEN

*Se describen rasgos de influencia mareal en depósitos marinos someros con predominio de la sedimentación mixta carbonatada-siliciclástica (Tortonense Superior de las Cuencas de Granada, Guadix y del Guadalquivir, Cordillera Bética). Los rasgos mareales son jerarquizados en cuatro órdenes: 1er orden, coset constituidos por el apilamiento de sets de estratificaciones cruzadas interpretados como la progradación de dunas multiconstruidos; 2º orden, set simple de estratificación cruzada ligada a la migración de barras por corrientes mareales, puntualmente afectadas por corrientes de resaca de tormentas, y 3er orden, haces o paquetes constituidos por la alternancia de láminas (4º orden) siliciclásticas y bioclásticas en el frente de las barras de 2º orden reflejo de ciclos mareales de alta frecuencia entre mareas vivas y muertas. El escenario paleogeográfico del Tortonense Superior en la Cordillera Bética, caracterizado por estrechas vías marinas en la conexión Atlántico-Mediterránea y cuencas semicerradas, favorece la aceleración de las corrientes mareales y su consecuente registro en los sedimentos.*

**Palabras clave:** Barra mareal, duna mareal compuesta, rampa mixta, Tortonense, Cordillera Bética.

*Geogaceta*, 52 (2012), 65-68.  
ISSN 2173-6545

Fecha de recepción: 14 de febrero de 2012  
Fecha de revisión: 26 de abril de 2012  
Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

## Introducción

El Mar Mediterráneo ha estado sometido a un régimen micromareal desde el Mioceno Inferior, cuando su conexión con el Océano Índico quedó interrumpida (Peadley y Carannante, 2006). Sin embargo, en pasillos marinos o bahías, la amplificación de las corrientes mareales, incluso en mares sometidos a rangos micromareales, puede dejar su señal en el registro sedimentario (Kamp *et al.*, 1988). Recientemente, han sido documentados en el Mediterráneo central diferentes ejemplos de depósitos Neó-

geno-Cuaternarios cuyos rasgos sedimentarios han sido asignados a corrientes mareales amplificadas en áreas geomorfológicamente restringidas (Longhitano y Nemec, 2005; Longhitano *et al.*, 2010, 2011; Longhitano, 2011).

La ausencia aparente de los clásicos criterios sedimentarios para el reconocimiento de ambientes mareales costeros (Johnson y Baldwin, 1996), como aquellos que reflejan la bipolaridad de la corriente y la alternancia de periodos de marea viva y muerta, ha hecho descartar en la literatura científica sobre el área de estudio la influencia ma-

real en estos depósitos en favor de otros tipos de agentes tales como las corrientes termohalinas o las inducidas por el oleaje y las tormentas. Los contextos mareales no costeros con amplificación de corrientes (p.ej. estrechos marinos) se caracterizan por aguas claras con nula o baja proporción de lutita, que difícilmente es preservada debido a la alta energía de la corriente, de ahí que sea difícil el registro y preservación de láminas de lutitas o *mud drapes* reflejando el flujo estático entre la llenante y vaciante de marea. El objetivo de este trabajo consiste en identificar rasgos sedimentarios presen-

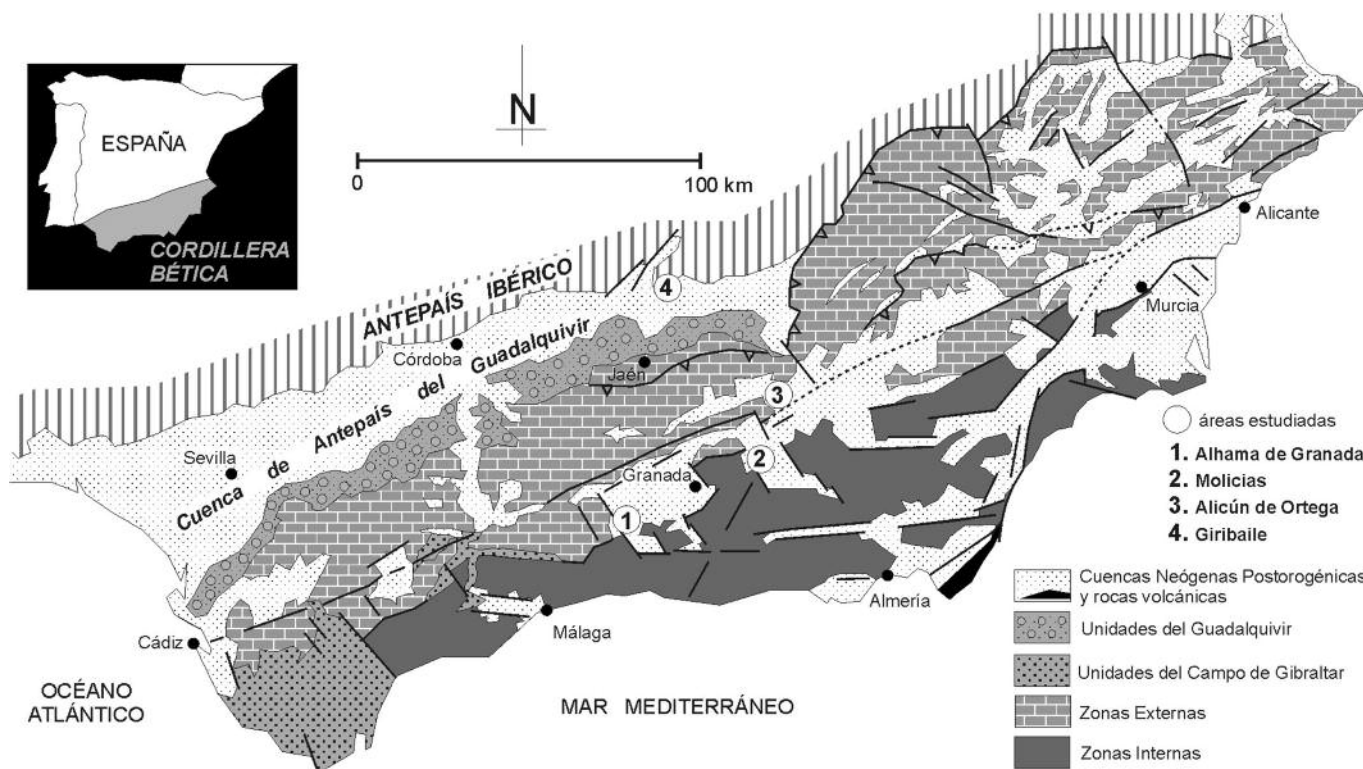


Fig. 1.- Posición de los cuatro afloramientos estudiados en diferentes Cuencas Neógeno-Cuaternarias sobre un esquema geológico de la Cordillera Bética (Sur de España).

Fig. 1.- Location of the four study outcrops in the Neogene-Quaternary Basins of the Betic Cordillera situated at the southern of Spain.

tes en los depósitos objeto de estudio para caracterizar la hidrodinámica mareal. Los ejemplos estudiados pertenecen a sistemas marinos someros con sedimentación mixta siliciclástico-carbonatada.

La configuración paleogeográfica de la Cordillera Bética durante el Tortoniense Superior, representada por cuencas comunicadas por estrechos pasillos marinos conectando el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo (Corbí *et al.*, en prensa) conforma un escenario ideal para la aceleración hidrodinámica del flujo mareal entre dos masas de agua con diferente régimen de mareas. Para la consecución del objetivo propuesto se han seleccionado diferentes áreas de estudio en las provincias de Granada y Jaén, donde se han preservado secuencias sedimentarias marinas del Tortoniense Superior (para bioestratigrafía de las secciones estudiadas ver los trabajos Soria *et al.*, 2003; García-García *et al.*, 2009; Corbí *et al.*, en prensa), tanto transgresivas como regresivas, en el seno de diferentes Cuencas Neógenas de la Cordillera Bética (Cuencas de Granada, Guadix y del Guadalquivir).

### Descripción y modelo deposicional de las secciones seleccionadas

(1) *Alhama de Granada* (SO de la Cuenca de Granada). La sucesión sedimentaria ha sido interpretada como una secuencia transgresiva que evoluciona desde depósitos costeros de estuario y playa (Fernández y Rodríguez-Fernández, 1991) a depósitos mixtos carbonatado-siliciclásticos en ambiente marino somero de rampa (Puga *et al.*, 2008). Las estructuras sedimentarias descritas en ambos trabajos han sido interpretadas ligadas al oleaje, fundamentalmente a corrientes de deriva litoral durante periodos de buen tiempo, y a corrientes movidas por tormentas.

(2) *Molicias, La Peza* (SO de la Cuenca de Guadix, Granada). La sucesión estratigráfica de este borde está representada por un apilamiento de varios bancos, paquetes o *cosets* de escala métrica (5 a 15 m) de depósitos mixtos siliciclástico-carbonatados con estratificaciones cruzadas de diferente escala que transicionan en la vertical a cal-

cirruditas. Estos *cosets* son granocrecientes y están separados por margas pelágicas, definiendo una alternancia rítmica interpretada como el registro de oscilaciones relativas de alta frecuencia del nivel del mar sobre una rampa homoclinal (García-García *et al.*, 2009) o plataforma-talud (Puga *et al.*, 2009).

(3) *Alicún de Ortega* (N de la Cuenca de Guadix, Granada). En la estratigrafía de este borde de la cuenca se reconoce una sucesión progradante constituida por *cosets* de areniscas con estratificaciones cruzadas, interpretados como dunas que migran por la influencia de corrientes mareales en una rampa (Reolid *et al.*, en prensa) y sobre la que se superponen conglomerados de naturaleza deltaica (Soria *et al.*, 2003).

(4) *Giribaile, Arquillos* (N de la Cuenca del Guadalquivir, Jaén). Este afloramiento expone una secuencia retrogradante que evoluciona distalmente, y en la vertical, desde depósitos conglomeráticos deltaicos a calcarenitas con *sets* de estratificaciones cruzadas ligadas a corrientes en una rampa de alta energía (García-García *et al.*, 2003).



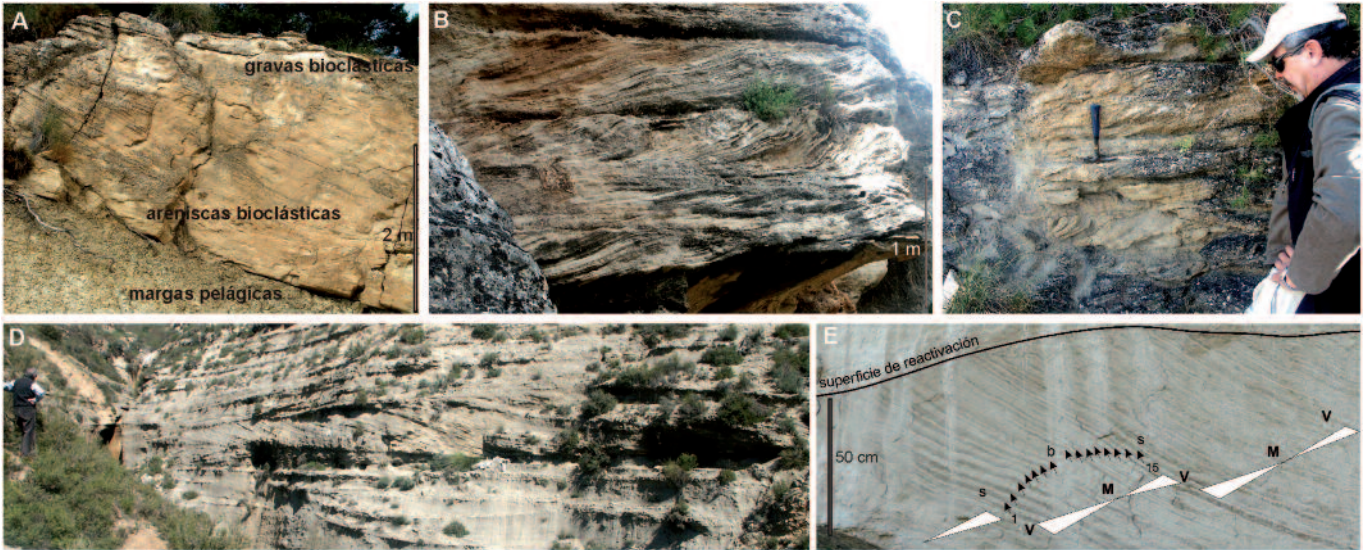


Fig. 2.- A. Secuencia granocreciente de gravas y areniscas bioclásticas sobre margas pelágicas, B. Coset formado por el apilamiento vertical de sets de estratificaciones cruzadas unidireccionales. Los estratos cruzados del tercer set aparecen deformados, C. Apilamiento de sets de poca altura de estratificaciones cruzadas de arenas de grano muy grueso y gravas, D. Set de estratificación cruzada en surco (debajo del set y hacia la izquierda en la foto se observa otro set de estratos cruzados buzando en sentido contrario), E. Alternancia de láminas claras de composición bioclástica (b) y oscuras de composición siliciclástica (s) conformando la organización interna de una duna interpretada en términos de ciclos mareales de alta frecuencia (M-marea muerta; V-marea viva).

Fig. 2.- A. Coarsening upward sequence consisting of bioclastic gravels and sandstones overlying pelagic marls, B. Vertical stacking of unidirectional cross-bedding sets. Deformed cross-bedding occur in the third set, C. Vertical stacking of thin cross-stratified gravels and coarse sandstones sets, D. Trough cross-stratified sandstones set (look at a underlying cross-bedding set dipping toward the other side at the left center of the picture), E. Tidal bundles generated by dune migration represented by an alternation of light bioclastic-dominated lamina and dark siliciclastic-dominated lamina (V to M: spring to neap cycle).

### Señal sedimentaria del flujo mareal

Ha establecido una jerarquización de la arquitectura deposicional y organización interna en cuatro órdenes, interpretable en términos de la influencia de la dinámica mareal sobre el sedimento: 1<sup>er</sup> orden, *coset* formado por el apilamiento de *sets* de estratos cruzados; 2<sup>o</sup> orden, *sets* individuales de estratos cruzados y 3<sup>er</sup> orden, paquetes o haces de láminas internas de los *sets* de segundo orden. Pares heterolíticos de láminas representan el 4<sup>o</sup> orden.

*Primer orden:* Está representado por *co-sets* granocrecientes de varios metros de espesor (5 a 15 m) con apilamiento de *sets* de estratificaciones cruzadas planares o en surco de tendencia unidireccional ( $h=0,5-4$  m) en la parte inferior del *coset*, y laminaciones cruzadas de tipo bidireccional ( $h=10-30$  cm) en la parte superior del *coset* (Fig. 2A,B,C).

Interpretación: Los *cosets* granocrecientes son interpretados como el resultado de la migración de dunas mareales compuestas (*tidal compound dunes*) multiconstruidas por dunas de arenas y gravas bioclásticas

cas que decrecen en altura desde la base del *coset*. La migración de formas del lecho mareales tiene lugar sobre sedimentos margosos pelágicos depositados en un contexto de rampa distal. Como resultado del progresivo apilamiento de formas, la rampa evoluciona en sentido de somerización, cambiando a rampa de tipo proximal.

*Segundo orden:* Los cuerpos de este rango jerárquico están representados por *sets* individuales de estratificación cruzada que evolucionan, desde áreas proximales a distales, desde gravas y arenas organizadas en láminas cruzadas de migración bidireccional a areniscas bioclásticas organizadas en estratos cruzados de migración unidireccional con discordancias internas tapizadas por *lags* de acumulación de bioclastos (braquiópodos y pectínidos) (Fig. 2D). A techo de estos cuerpos y en los estratos cruzados aparecen trazas fósiles. Puntualmente, las estratificaciones cruzadas aparecen deformadas por pliegues disarmónicos y recumbentes con vergencia en el sentido de inclinación de los estratos cruzados.

Interpretación: Las dunas de pequeña escala y mayor tamaño de grano son depositadas en ambientes de prodelta-*shoreface*

removilizadas por corrientes mareales bidireccionales. Las dunas de mayor escala se forman en la rampa proximal por migración hacia el centro de la cuenca movidas por corrientes mareales de refluo (*ebb-tidal flow*). Corrientes de resaca ligadas a tormentas erosionan las dunas generando superficies de truncación tapizadas por acumulaciones de bioclastos costeros redepósitos y sobre los que, discordante, se reactivará la migración de las dunas (Reolid *et al.*, en prensa). La alta energía de las corrientes mareales cargadas de sedimento provoca altos valores de esfuerzo de cizalla que deforman los estratos cruzados infrayacentes. Las trazas fósiles indican intervalos durante los que la duna permaneció estática.

*Tercer y cuarto orden:* Están representados por haces o paquetes (tercer orden) contruidos por la alternancia de láminas (cuarto orden) bioclásticas y siliciclásticas de rango de espesor centimétrico a decimétrico identificada en la organización interna de los *sets* de segundo orden (Fig. 2E).

Interpretación: La diferente velocidad de las corrientes mareales en fase de marea as-

cedente (flujo) y de marea descendente (reflujo) es el factor que condiciona la movilización de granos de distinta densidad y morfología (Longhitano *et al.*, 2011). La mayor velocidad de la corriente durante el descenso de la marea acumuló láminas siliciclásticas en el frente de la duna, dejando en suspensión la fracción bioclástica. La menor energía de la corriente en la fase de marea ascendente permite a la fracción bioclástica incorporarse a las avalanchas del frente de la duna, generando una lámina con mayor concentración de granos esqueléticos (Longhitano, 2011). En cada paquete de 15 pares de láminas siliciclástico-carbonatadas se observa una tendencia decreciente a creciente en la proporción siliciclástica/bioclástica representando el ciclo completo entre dos mareas vivas consecutivas según el modelo presentado por Tape *et al.* (2003) para los haces de láminas mareales (*tidal bundles sequences*).

## Conclusiones

Rasgos sedimentarios en depósitos marino someros de alta energía depositados en las Cuencas Neógenas de la Cordillera Bética durante el Tortoniense Superior, hasta ahora interpretados en términos de corrientes fundamentalmente movidas por el oleaje, son reinterpretados en términos de la influencia mareal en una configuración paleogeográfica de estrechos y cuencas semicerradas donde se amplifica el flujo mareal. Se ha podido reconocer el flujo ma-

real en cuerpos sedimentarios de varias escalas: 1º orden, *cosets* formados por apilamiento de *sets* de estratos cruzados interpretados como dunas mareales multiconstruidas (*compound tidal dune*); 2º orden *sets* simples de estratos cruzados interpretados como *megaripples* en ambientes de *shoreface-prodelta* y barras mareales (*tidal bars*) en ambientes de rampa; 3º orden, paquetes o haces de láminas construidos por la alternancia (4º orden) de láminas siliciclásticas y láminas bioclásticas, reflejando la diferente energía de la corriente mareal y comportamiento hidrodinámico de los granos durante ciclos de alta frecuencia entre mareas vivas y muertas.

## Agradecimientos

Estudio financiado por los Proyectos de Investigación CGL2007-65832 y CGL2009-07830/BTE (Ministerio de Educación y Ciencia, y Fondos Europeos de Desarrollo Regional-FEDER) y por el Grupo de Investigación RNM-200 (F.G.) de la Junta de Andalucía.

## Referencias

- Corbí, H., Lancis, C., García-García, F., Pina, J.A., Soria, J.M., Tent-Manclús, J.E. y Viseras, C. (en prensa) *Geobios*.
- Fernández, J y Rodríguez-Fernández, J. (1991). *Sedimentary Geology*, 71, 5-21.
- García-García, F., Castro, J.M., Rey, J. y Ruiz-Ortiz, P.A. (2003). *Geo-temas*, 5, 71-74.
- García-García, F., Soria, J.M., Viseras y C., Fernández, J. (2009). *Journal of Sedimentary Research*, 79, 302-315.

- Johnson, H.D. y Baldwin, C.T. (1996). *Sedimentary Environments: Processes*, En: *Facies and Stratigraphy* (Reading, H.G., Ed.), Blackwell Science, 232–280.
- Kamp, P.J.J., Harmsen, F.J., Nelson, C.S. y Boyle, S.F. (1988). *Sedimentary Geology*, 60, 173-195.
- Longhitano, S.G. y Nemec, W. (2005). *Sedimentary Geology*, 179, 195-224.
- Longhitano, S.G., Sabato, L., Tropeano, M. y Gallicchio, S. (2010). *Journal of Sedimentary Research*, 80, 36-53.
- Longhitano, S.G., Chiarella, D., Di Stefano, A., Messina, C., Sabato, L. y Tropeano, M. (2011). *Sedimentary Geology*, doi: 10.1016/j.sedgeo.2011.04.019.
- Longhitano, S.G. (2011). *Sedimentology*, doi: 10.1111/j.1365-3091.2010.01179.x.
- Pedley, H.M. y Carannante, G. (2006). En: *Cool-Water Carbonates: Depositional Systems and Palaeoenvironmental Controls* (Pedley, H.M. y Carannante, G., Eds). Geological Society of London, Special Publication 255, 1–9.
- Puga, A., Martín, J.M. y Braga, J.C. (2008). *Sedimentology*, 55, 1449-1466.
- Puga, A., Martín, J.M., Braga, J.C., y Sánchez-Almazo, I. (2009). *Sedimentology*, 57, 293-311.
- Reolid, M., García-García, F., Tomašových, A. y Soria, J.M. (en prensa) *Facies*.
- Soria, J.M., Fernández, J., García, F. y Viseras, C. (2003). *Journal of Sedimentary Research*, 73, 912-925.
- Tape, C.L., Cowan, C.A. y Runkel, A.C. (2003). *Journal of Sedimentary Research*, 73, 354-366.