

Interacción entre el litoral y la plataforma continental interna en diferentes escalas temporales

Interaction between the coast and the inner continental shelf in different timescales

J. Alcántara-Carrió¹, S. Albarracín¹, Á. Fontán Bouzas¹, I. Montoya², G. Flor Blanco³, J. Rey Salgado⁴ y M. Vela¹

¹ Facultad de Ciencias Experimentales. Instituto de Investigación en Medio Ambiente y Ciencia Marina. Universidad Católica de Valencia. C/ Guillem de Castro 94. 46001 Valencia. España. javieralcantaracarrio@yahoo.es

² Dpto. de Oceanografía Física, Química e Geológica. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. Praza do Oceanográfico 191. São Paulo, Brasil. isa_m_m@yahoo.es

³ Dpto. de Geología. Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco, s/n. 33005 Oviedo. España. gfb@geol.uniovi.es

⁴ ESGEMAR, Estudios geológicos marinos S.A. Local M5. Puerto de Málaga. 29001 Málaga. España. jjrey@esgemar.com

Resumen: El litoral y la plataforma continental interna son regiones marinas que suelen estudiarse por separado, si bien los procesos hidrográficos, el transporte de sedimentos y la morfología del relieve en ambas regiones están íntimamente relacionados, con múltiples interacciones entre ellos. Los estudios topo-batimétricos y de corrientes en las playas y plataforma al sur de Gran Canaria muestran cómo las corrientes y el flujo de sedimentos en la plataforma interna condicionan la dinámica sedimentaria de las playas. Por su parte, los perfiles sísmicos de alta resolución registrados en dicha plataforma continental insular y en la del golfo de Valencia muestran que el paleorrelieve previo, debido a procesos de origen continental o litoral, condiciona la rugosidad y morfología de la plataforma, lo que afecta a los procesos hidrográficos actuales y al relleno sedimentario de las plataformas insulares y continentales durante el Holoceno. De este modo, la evolución morfo-sedimentaria del litoral y la plataforma están también íntimamente relacionadas.

Palabras clave: plataforma interna, geomorfología, espesor de sedimentos, evolución costera, Cuaternario.

Abstract: Coastal and inner shelf marine areas are usually studied separately, although the hydrodynamics processes, sediment transport and relief morphology in both regions are closely related, with complex interactions between them. Topo-bathymetric and physical oceanographic surveys on south of Gran Canaria beaches and inner shelf show as sediment fluxes through inner shelf affect the sedimentary dynamics on beaches. Moreover, high resolution seismic profiles recorded in this insular shelf and the continental shelf of the gulf of Valencia show that previous paleo-relieves, determined by continental or coastal processes, influences the shelf roughness and morphology, which affects to present hydrographic processes and sedimentary thickness in the insular and continental shelves during the Holocene. Therefore, morfo-sedimentary evolution of the littoral and shelf are also closely related.

Key words: inner shelf, geomorphology, sediment thickness, coastal evolution, Quaternary.

INTRODUCCIÓN

La acción del oleaje y las mareas en el litoral está modulada por su interacción previa con el contorno batimétrico de la plataforma e, igualmente, la fricción con el fondo es fundamental para analizar las corrientes en la plataforma y el litoral. Por su parte, los aportes de sedimentos desde el litoral son determinantes para explicar el relleno sedimentario de la plataforma interna, existiendo estudios que documentan también el flujo de sedimentos desde la plataforma hacia la costa (Schwab et al., 2013). Por tanto, la combinación de la energía introducida desde la plataforma interna y las tasas de aporte de sedimentos, provenientes principalmente del litoral, determinan el balance sedimentario actual y la evolución geomorfológica de ambas unidades fisiográficas.

A una escala de tiempo mayor, las oscilaciones del nivel del mar producen una alternancia continua entre los medios litorales y de plataforma continental, de modo que no sólo la evolución del litoral está controlada por su evolución geomorfológica previa (Short, 2010), sino que también el relleno sedimentario de la plataforma es en buena parte resultado de procesos litorales previos. Consecuentemente, la morfología e hidrografía actuales, así como el relleno holoceno de la plataforma continental, están condicionados por la presencia previa en la misma zona de medios litorales plio-pleistocenos e, incluso, la formación, durante las épocas glaciales, de depósitos de materiales subaéreos (Barnhardt et al., 2009) y paleocanales (Putney et al., 2004), que influyen también en la fisiografía actual del litoral y la plataforma continental.

El desarrollo de nuevas técnicas de alta resolución topo-batimétricas en las últimas décadas ha permitido mejorar la caracterización y cuantificación de la actual dinámica sedimentaria de los medios litorales y determinar los flujos de sedimentos entre el litoral y la plataforma. De esta manera, es posible identificar, por ejemplo, los lugares que actúan como fuente-sumidero o cuáles son los factores más importantes que actúan como moduladores de un sistema sedimentario actual en continuo cambio o en aquéllos que presentan graves problemas de pérdidas de sedimentos (Fontán Bouzas et al., 2012).

A su vez, la combinación de dichas técnicas con las sísmicas de alta resolución ha permitido avanzar en la caracterización de la estratigrafía sísmica y determinar la potencia sedimentaria de los ambientes litorales y de la plataforma. Con dicho análisis estratigráfico, es posible deducir la evolución de los medios litorales en las actuales condiciones y a lo largo de todo el ciclo del nivel del mar (Barnhardt et al., 2009).

Este trabajo presenta los resultados de los estudios realizados sobre la interacción entre el litoral y la plataforma en dos regiones diferentes. La primera de ellas corresponde al sur de la isla de Gran Canaria (Archipiélago canario), caracterizada por la presencia del sistema sedimentario de Maspalomas, formado por un extenso campo de dunas activas, limitadas hacia el mar por las playas de Maspalomas y El Inglés, y los ambientes de plataforma somera asociados, de morfología irregular y extensión bastante reducida. El transporte eólico selectivo de arenas desde las playas, compuestas por fragmentos líticos de origen volcánico y bioclásticos marinos, ha dado lugar a dicho campo de dunas, que en la actualidad presenta una tendencia netamente erosiva.

La segunda de las zonas de estudio corresponde al Golfo de Valencia (margen ibérico del Mediterráneo Occidental), que se caracteriza por una plataforma de transición entre la extensa plataforma progradante del Ebro y la estrecha plataforma bética controlada por la neotectónica. El litoral del golfo de Valencia está dividido, debido a los promontorios del cabo de Cullera y el puerto de Valencia, en tres sectores diferentes, con presencia en cada uno de ellos de playas abiertas y lagunas costeras cerradas por barras arenosas y algunos sistemas dunares.

METODOLOGÍA

Batimetría y topografía

La morfología de las playas sumergidas y la plataforma insular interna en Maspalomas (sur de Gran Canaria) se ha obtenido mediante el análisis de una batimetría realizada con ecosonda multihaz. Los procesos de erosión y acumulación de sedimentos en las playas de Maspalomas y El Inglés se han

monitorizados mediante levantamientos con GPS diferencial para la zona emergida e intermareal y levantamientos con ecosonda monohaz para la playa sumergida y la zona de plataforma interna, empleando una embarcación semirrígida.

Por su parte, la morfología de la plataforma continental interna del golfo de Valencia se ha obtenido mediante el análisis de levantamientos batimétricos realizados con ecosonda multihaz a bordo del buque oceanográfico García del Cid, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, empleando también el procesado de información batimétrica previa facilitada por el Ministerio de Medio Ambiente.

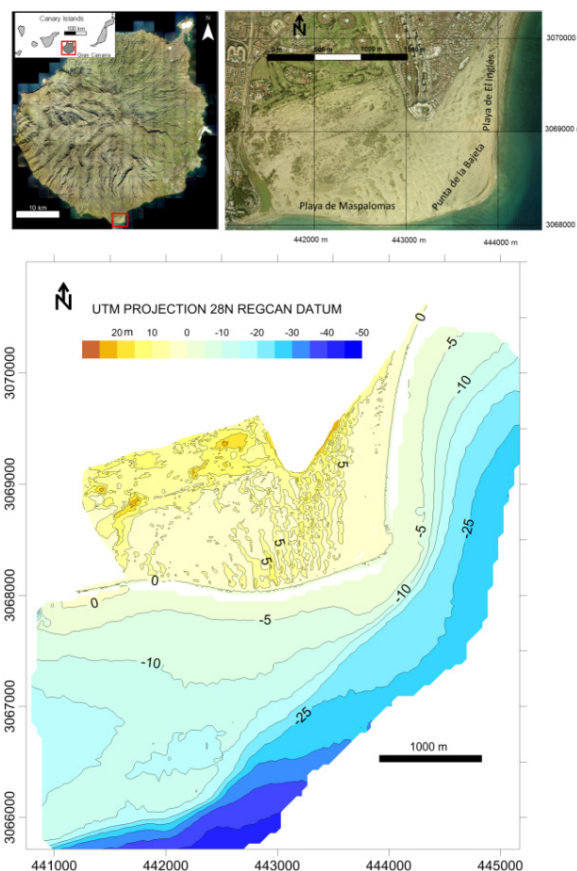


FIGURA 1. Modelo digital de terreno del sistema sedimentario de Maspalomas, Gran Canaria (Fontán Bouzas et al., 2013).

Corrientes marinas

Las componentes horizontal y vertical de las corrientes marinas han sido medidas en ambas regiones mediante un ADP de 1.000 kHz, a lo largo de secciones verticales orientadas perpendicularmente a las isobatas, a bordo de los buques ya citados y en las embarcaciones costeras Montinuevo y Tarroblanco.

Sísmica de reflexión

La estratigrafía del subsuelo marino y, por tanto, su evolución geomorfológica han sido deducidas a partir

de estudios sísmicos, realizados con un geopulse 205J, con un rango de frecuencias de 200-2.000 Hz. Con dicho equipo, se realizaron perfiles a lo largo de las plataformas interna y media en ambas zonas de estudio, en un rango batimétrico de 10 hasta 70 m de profundidad.

Dataciones isotópicas

Las muestras de rocas tomadas a profundidades de 20 y 25 m, a lo largo de la barrera identificada y cartografiada en el golfo de Valencia se han datado mediante ¹⁴C en el laboratorio de Beta Analytic en Miami. Además, a estas muestras se les realizó un estudio de microfacies detallado mediante la observación de láminas delgadas en el microscopio petrográfico del Área de Estratigrafía de la Universidad de Oviedo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Interacción a corto plazo

La cuantificación de los cambios topo-batimétricos en el sur de Gran Canaria muestra cómo los procesos de erosión y sedimentación no se producen sólo en las playas de Maspalomas y El Inglés, sino también en la plataforma sumergida contigua. Así, el flujo de sedimentos supera la profundidad de cierre predicha por la expresión de Hallermaier (1981), que para el clima marítimo de la zona corresponde a 6,14 m de profundidad, ya que se observa un claro transporte transversal de sedimentos desde las playas hasta profundidades de más de 10 m, con cambios batimétricos importantes, incluso a profundidades mayores.

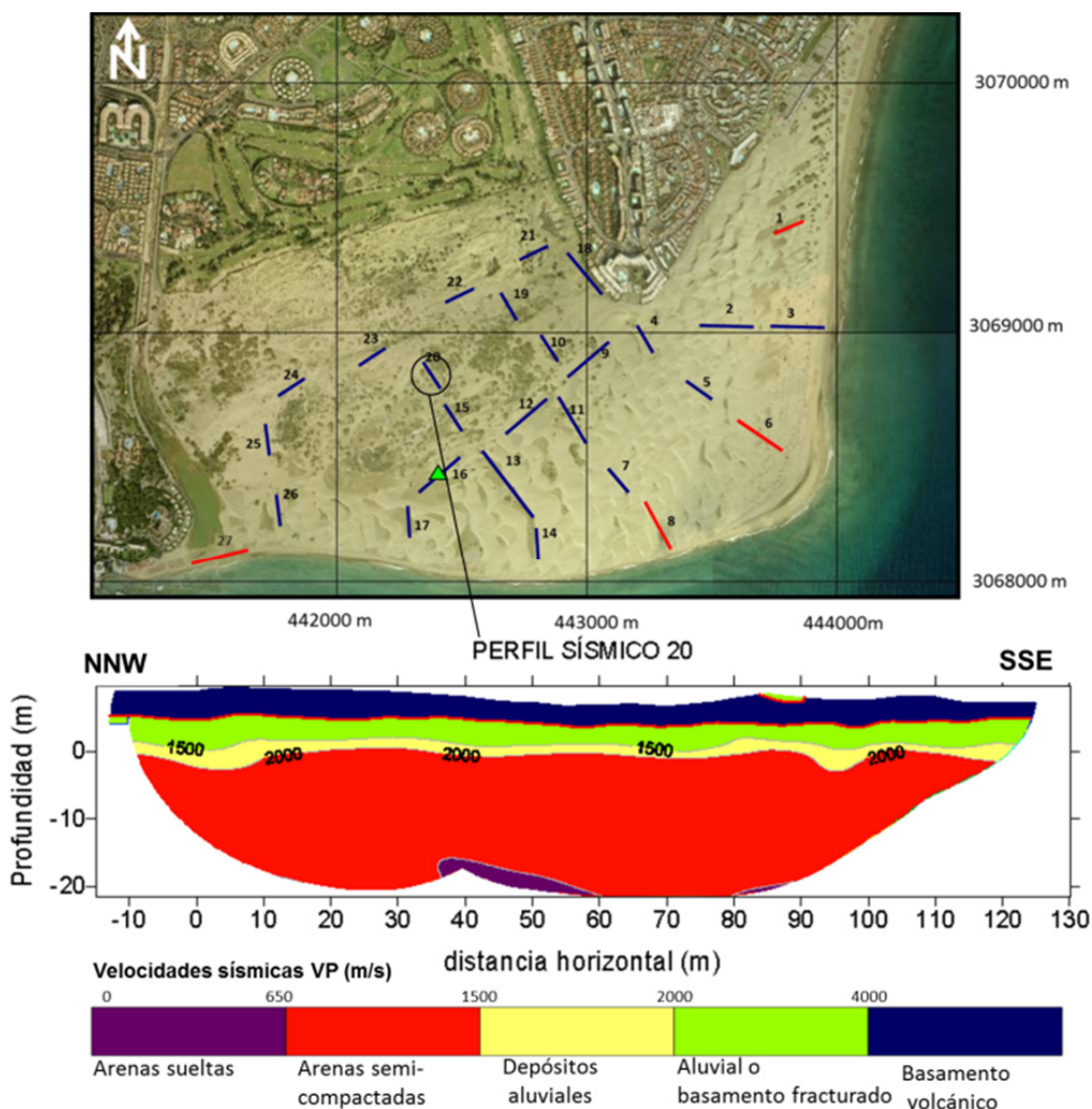


FIGURA 2. Localización de depósitos aluviales y volcánicos subyacentes por debajo de los depósitos sedimentarios del campo dunar de Maspalomas (Alcántara-Carrió et al., 2007).

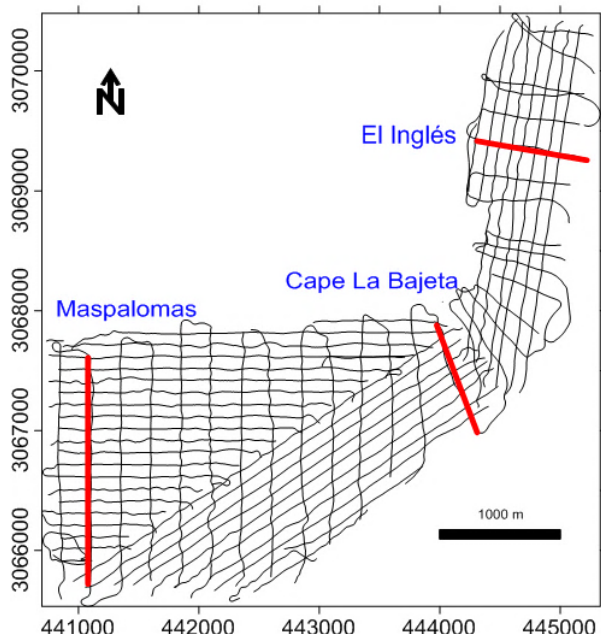
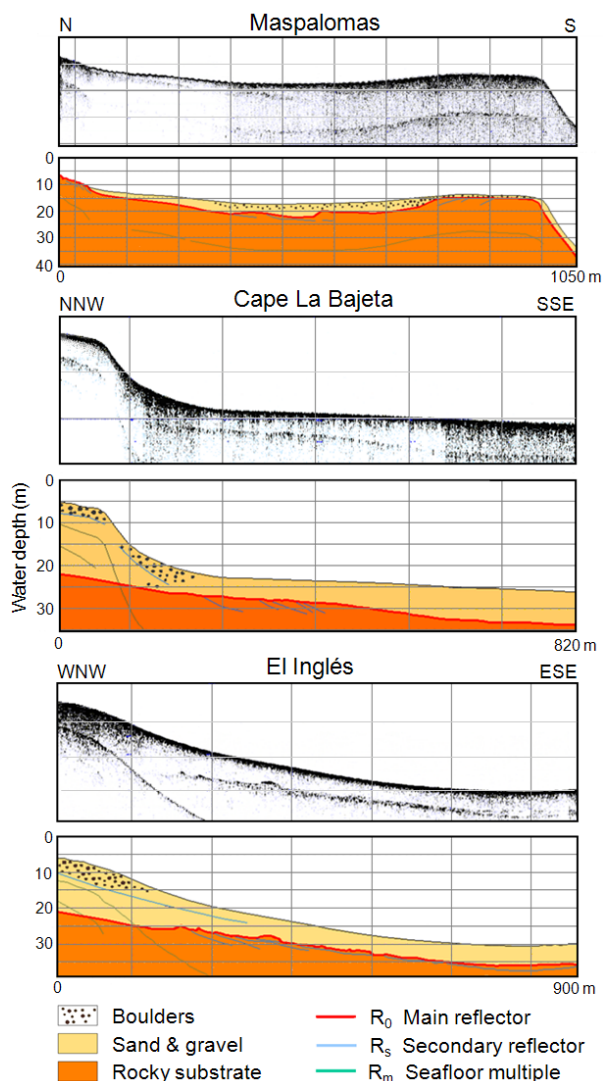


FIGURA 3. Perfiles sísmicos e interpretación en la zona sumergida del sistema sedimentario de Maspalomas (Fontán Bouzas et al., 2013).

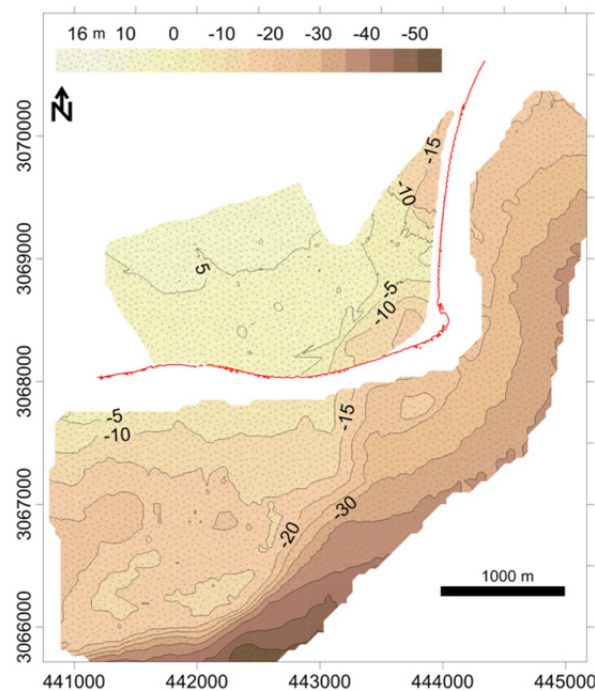


FIGURA 4. Topografía de la superficie del muro de arenas bajo los sedimentos actuales del conjunto de Maspalomas (Fontán Bouzas et al., 2013).

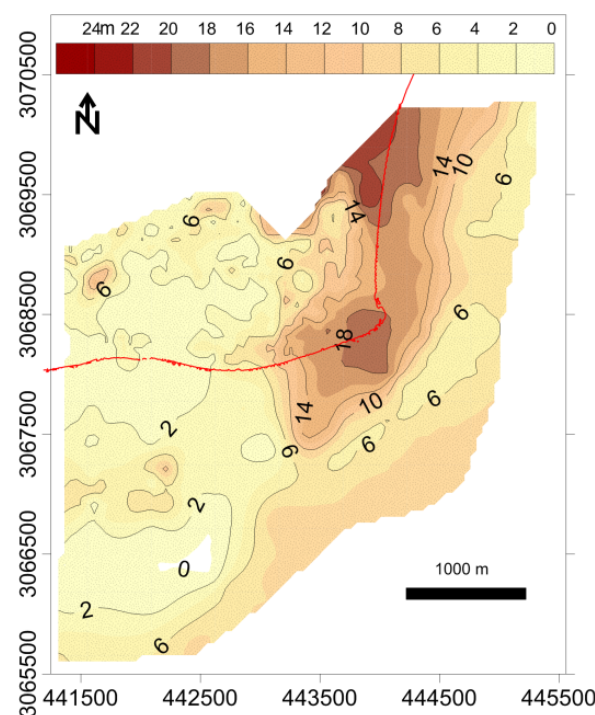


FIGURA 5. Mapa de espesor de sedimentos modernos, por encima del sustrato aluvial y volcánico, en las dunas, playas y plataforma proximal en Maspalomas.

Los volúmenes de sedimentos movilizados y erosionados en la plataforma insular sumergida superan claramente a los cambios volumétricos en la zona litoral. Las áreas de salida de sedimentos desde la plataforma hacia zonas más profundas se han identificado debido a la presencia de campos de megaripples en el borde de la plataforma interna.

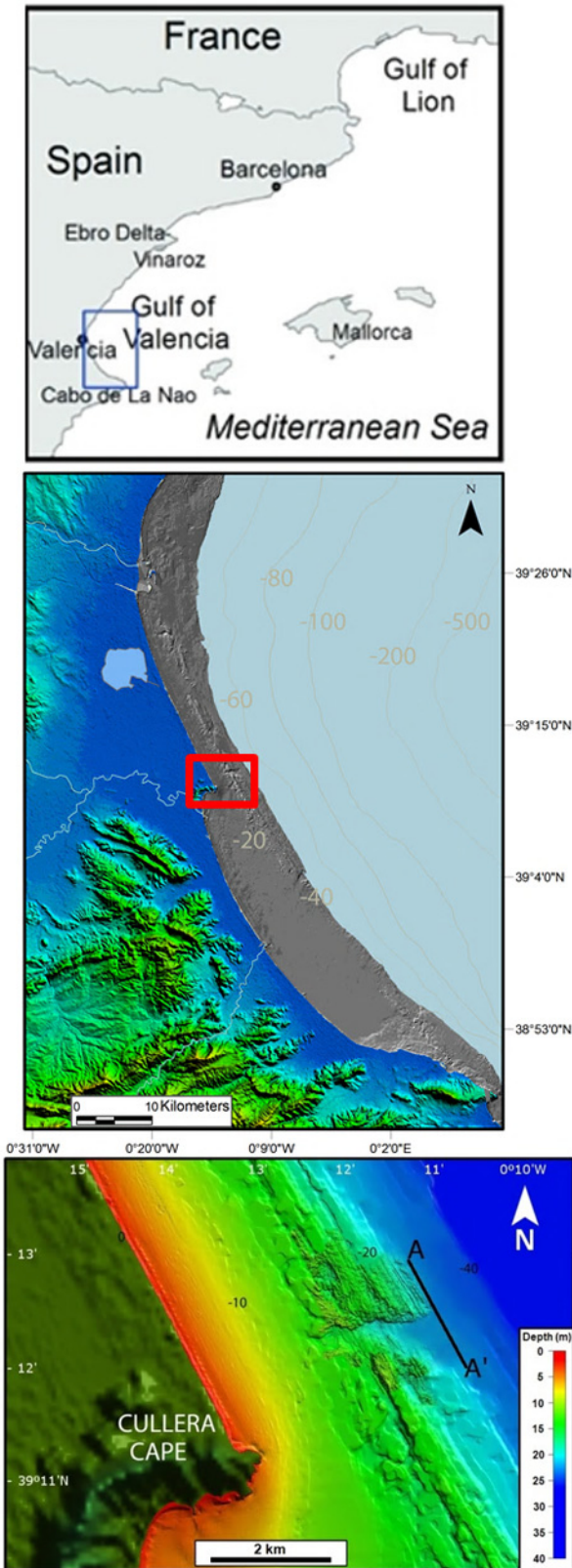


FIGURA 6. Modelo digital del terreno de la plataforma continental interna del golfo de Valencia. La figura central delimita la barrera pleistocena y la inferior muestra el paleocauce del río Júcar, actualmente sumergido, así como la localización del perfil sísmico A-A' (Alcántara-Carrió et al., 2013).

Todo ello parece indicar que la tendencia erosiva actual de las playas de Maspalomas y El Inglés

(Alcántara-Carrió y Fontán, 2009) está fuertemente influenciado o incluso controlado por un comportamiento erosivo también en la plataforma. Así, en un contexto erosivo en la plataforma difícilmente puede darse una tendencia de acumulación en las playas. Por tanto, el comportamiento sedimentario de las playas y plataforma resulta estar claramente relacionado.

El análisis de las corrientes medidas en dicha plataforma muestra la presencia de un giro en la zona distal al sur del área de estudio, debido a la presencia de un afloramiento rocoso. Estas corrientes marinas registradas en ausencia de temporales y dada la profundidad a la que afectan, parecen estar relacionadas con la entrada de la Corriente de Canarias en la plataforma. Las Islas Canarias modulan dicha corriente, produciendo intensos remolinos al sur de las islas (Mason, 2009). De igual modo, la presencia de esta plataforma insular somera al sur de la playa de Maspalomas, parece actuar como obstáculo batimétrico, produciendo el estrechamiento de las líneas de flujo e intensificando las corrientes sobre dicha plataforma.

Interacción a largo plazo

El modelo digital de elevación (DEM) del sistema sedimentario de Maspalomas (Fig. 1), obtenido a partir de datos topo-batimétricos, en combinación con perfiles geofísicos de las áreas emergida y sumergida, ha permitido deducir la evolución geomorfológica y determinar el espesor de sedimentos en el sistema. Así, mediante los perfiles sísmicos se ha podido localizar la superficie de las terrazas aluviales pleistocenas sobre las que se asientan los depósitos actuales del Holoceno para todo el sistema sedimentario actual de dunas, playas y depósitos sumergidos (Figs. 2 y 3).

Por tanto, la identificación de una terraza aluvial submarina, resultado de la actividad del barranco de Fataga (Fig. 3), ha permitido explicar que sea la causa de la mayor anchura de la plataforma insular al sur de la playa de Maspalomas, en contraste con la estrecha plataforma hacia el este de la playa de El Inglés y La Punta de la Bajeta, donde esta terraza aluvial no se encuentra tan desarrollada. El techo de estos depósitos aluviales (muro de la capa de arenas) es más superficial en las zonas hacia el Norte y Oeste del Sistema Sedimentario de Maspalomas, para las áreas tanto emergida como sumergida del complejo litoral (Fig. 4). La morfología de dicho sustrato aluvial está claramente correlacionada con el actual espesor de sedimentos en las dunas, playas y plataforma de cada uno de estos tres sectores (Fig. 5).

Consecuentemente, este estudio muestra que el relieve heredado condiciona no sólo la morfología actual, sino también los procesos hidrodinámicos (corrientes) actuales en la plataforma y las playas, influyendo también notablemente en la disponibilidad y transporte de sedimentos hacia las playas y dunas.

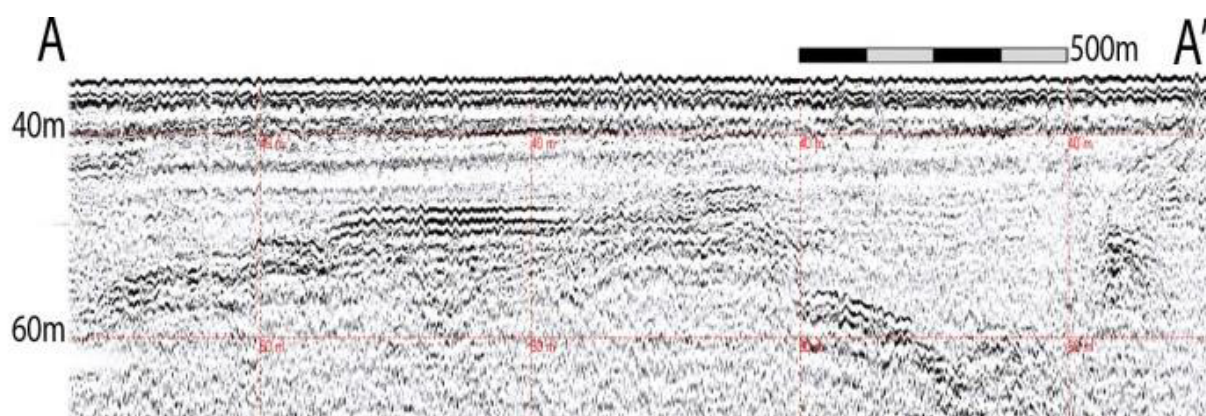


FIGURA 7. Relleno de paleocanales cortando la paleobarrera pleistocena del golfo de Valencia. Perfil sísmico A-A' (longitud 1969 m; UTM, WGS84, zona 30°N; Inicio: 4344410N, 742965E; Fin: 4343024N, 743716E, ver localización en la Fig. 6).

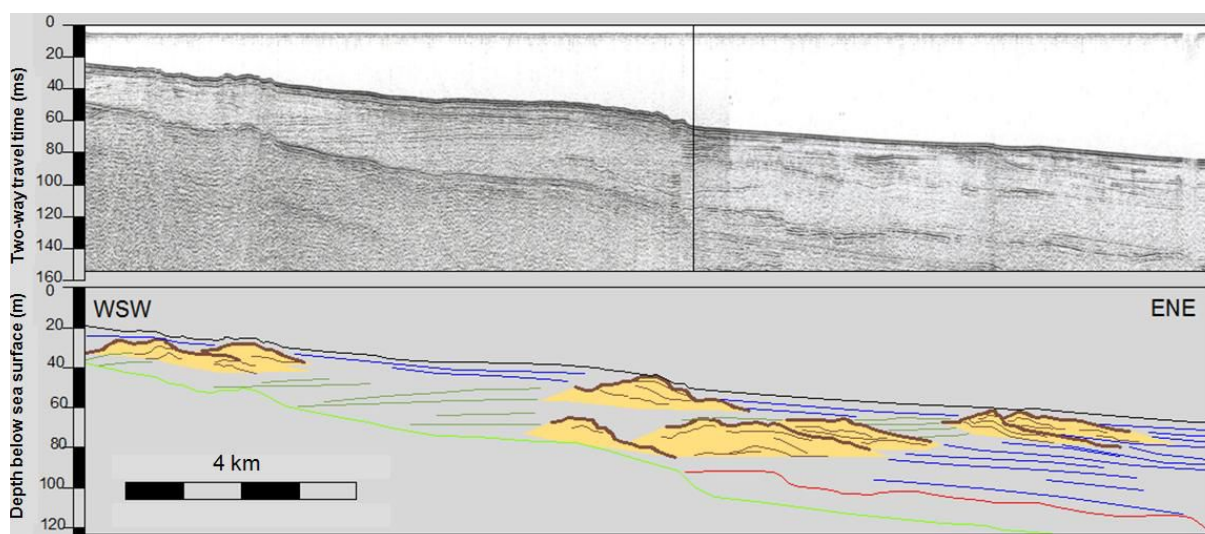


FIGURA 8. Presencia de paleobarras y lagunas costeras asociadas en la plataforma continental del golfo de Valencia (longitud 10096 m; UTM, WGS84, zona 30°N; Inicio: 4358573N, 734269E; Fin: 4359457N, 744260E) según Albarracín et al. (2013).

Los estudios batimétricos realizados en la plataforma continental del golfo de Valencia muestran la presencia de una paleobarrera que aflora claramente del relleno sedimentario actual (Fig. 6), con más de 50 km de longitud y 2 km de anchura media (Alcántara-Carrió et al. 2013). Esta paleobarrera aflorante está surcada por dos paleocauces principales, frente a la Albufera de Valencia y el cabo de Cullera. Este último corresponde, por tanto, al paleocauce del río Júcar. Diversos perfiles sísmicos más profundos y paralelos a la barrera muestran el relleno actual de los paleocauces que la cortan (Fig. 7).

En el estudio de las microfácies sobre las láminas delgadas obtenidas de una roca calcárea tomada a 25 m de profundidad, sobre la superficie del paleocauce, se observan diferentes aspectos: una cristalización original en la matriz y una recristalización más moderna. La datación de la roca ha resultado de una edad de 21.090 a 20.440 cal. años BP (2 sigma calibrado, 95% de probabilidad) para la muestra en recristalización de la caliza wackestone, que la sitúa en una edad del estadio isotópico marino 2, el último

máximo glacial. Este estadio se corresponde a un nivel del mar, aproximadamente, 120 m por debajo del actual. Por tanto, asignando dicha edad a un ambiente fangoso continental depositado sobre el paleocauce incidido en la barrera, la edad de dicha barrera litoral debe ser más antigua, probablemente de edad Eemiense (Tirreniense).

El carácter relativamente somero de dicha barrera permite afirmar que modula la propagación del oleaje e, igualmente, se ha observado la formación de pequeñas corrientes verticales de ascenso asociadas a la misma, por un efecto topográfico similar al de un frente arrecifal, con posibles implicaciones a nivel local en la producción primaria. Por todo ello, se evidencia la influencia del paleorrelieve litoral sobre el relleno sedimentario, la morfología de la plataforma y sus procesos hidrodinámicos (oleaje y corrientes).

Los estudios sísmicos han revelado la presencia de numerosas paleobarras sumergidas y sus lagunas costeras asociadas, con una tendencia progradante para las más antiguas y retrogradante en el caso de las más

modernas (Fig. 8). Estas paleobarras litorales, que alcanzan una potencia de decenas de metros (Albarracín et al., 2013), constituyen un importante paleorrelieve sobre el cual se ha producido el depósito de los sedimentos de plataforma holocenos.

CONCLUSIONES

La combinación del régimen hidrodinámico en la plataforma interna y las tasas de aporte de sedimentos desde el litoral determinan el balance sedimentario y la evolución geomorfológica de ambas regiones, estando fuertemente influenciados por la presencia de paleorrelieves.

Los estudios morfosedimentarios en el sur de Gran Canaria (Islas Canarias) muestran cómo la potencia sedimentaria de los ambientes costeros y de plataforma actuales está claramente relacionada con la presencia de terrazas aluviales subyacentes, existiendo además intensos flujos de sedimentos actuales entre los ambientes litorales y de plataforma, en función de dicha disponibilidad y el clima marítimo. Así, las corrientes y el flujo de sedimentos a través de la plataforma continental son fundamentales para determinar las tendencias de erosión y recuperación de las playas.

Los estudios geofísicos en la plataforma continental del golfo de Valencia (Mediterráneo Occidental) muestran cómo su relleno sedimentario cuaternario está constituido principalmente por sistemas litorales de isla barrera y laguna costera asociada, con tendencias desde progradantes a retrogradantes, según las variaciones del nivel relativo del mar. Estos depósitos litorales generados en el Pleistoceno, que están actualmente cementados, han condicionado la morfología de la plataforma y sus procesos hidrodinámicos a lo largo de todo el Holoceno.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al proyecto DERIVA (ref. CTM2009-09479, subprograma MAR), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y las ayudas complementarias CTM2010-09488-E, CTM2010-11032-E, ACOMP/2010/267 y ACOMP/2011/257 del Ministerio de Ciencia e Innovación y la Generalitat Valenciana. Gracias también, muy especialmente, a los participantes en las campañas oceanográficas y a la empresa ESGEMAR por la disponibilidad de sus equipos y personal en la realización de las campañas geofísicas.

REFERENCIAS

Albarracín, S., Alcántara-Carrió, J., Barranco, A., Sánchez García, M.J., Fontán Bouzas, A. y Rey Salgado, J. (2013): Seismic evidence for the preser-

vation of several stacked Pleistocene coastal barrier/lagoon systems on the Gulf of Valencia continental shelf (western Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 33 (2-3): 217-223.

Alcántara-Carrió, J. y Fontán Bouzas, A. (2009): Factors controlling the morphodynamics and geomorphologic evolution of a cusped foreland in a volcanic intraplate island (Maspalomas, Canary Islands). *Journal of Coastal Research*, S.I. 56: 683-687.

Alcántara-Carrió, J., Albarracín, S., Montoya Montes, I., Flor-Blanco, G., Fontán-Bouzas, A. y Rey Salgado, J. (2013): An indurated Pleistocene coastal barrier on the inner shelf of the Gulf of Valencia (western Mediterranean): evidence for a prolonged relative sea-level stillstand. *Geo-Marine Letters*, 33 (2-3): 209-216.

Alcántara-Carrió, J., Fontán Bouzas, A., Colliga, L., Álvarez, J.A., Poveda, J.M. y Peña, M.A. (2007): Determinación geofísica de la potencia de arena en el campo dunar de Maspalomas (S de Gran Canaria, Islas Canarias). In: J. Lario, P.G. Silva (Eds.). *Contribuciones al estudio del periodo Cuaternario*. Asociación Española del Cuaternario (AEQUA). Ávila. Comunicaciones, 71-72.

Barnhardt W.A., Andrews B.D., Ackerman S.D., Badwin W.E. y Hein C.J. (2009): High-Resolution Geologic Mapping of the Inner Continental Shelf: Cape Ann to Salisbury Beach, Massachusetts. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1373*. 47 p. <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1373/>.

Fontán Bouzas, A., Alcántara-Carrió, J. y Correa, I.D. (2012): Combined erosion at the beaches and the inner shelf in short and medium term (Maspalomas, Canary Islands). *Geologica Acta*, 10(4): 411-426.

Fontán Bouzas, A., Alcántara-Carrió, J., Montoya Montes, I., Barranco, A., Albarracín S., Rey Díaz de Rada, J. y Rey Salgado, J. (2013): Distribution and thickness of sedimentary facies in the coastal dune, beach and nearshore sedimentary system at Maspalomas, Canary Islands. *Geo-Marine Letters*, 33 (2-3): 117-127.

Hallermaier, R.J. (1981): A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering* 4: 253-277.

Mason, E. (2009): *High-resolution modelling of the Canary Basin oceanic circulation*. Tesis Doctoral (inédita). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 235 pp.

Putney, T.R., Katuna, M.P. y Harris, M.S., (2004): Subsurface stratigraphy and geomorphology of the Grand Strand, Georgetown and Horry Counties, South Carolina. *Southeastern Geology*, 42 (4): 217-236.

Schwab, W.C., Baldwin, W.E., Hapke, C.J., Lentz, E.E., Gayes, P.T., Denny, J.F., List, J.H. y Warner, J.C. (2013): Geologic evidence for onshore sediment transport from the inner continental shelf: Fire Island, New York. *Journal of Coastal Research*, 29 (2) In press. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-12-00160.1.

Short, A.D. (2010): Role of geological inheritance in Australian beach morphodynamics. *Coastal Engineering*, 57 (2): 92-97.