

# Cuantificación de procesos de erosión costera en el litoral suratlántico español. Primeros resultados

*Quantification of coastal erosion processes in the South – Atlantic Spanish coast. First results.*

L. del Río <sup>(1)</sup>, J. Benavente <sup>(1)</sup>, F.J. Gracia <sup>(1)</sup>, G. Anfuso <sup>(1)</sup>, J.A. Martínez-del-Pozo <sup>(1)</sup>, L. Domínguez <sup>(1)</sup>, A. Rodríguez-Ramírez <sup>(2)</sup>, E. Flores <sup>(2)</sup>, L.M. Cáceres <sup>(2)</sup>, F. López-Aguayo <sup>(1)</sup> y J. Rodríguez-Vidal <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. de Geología. Fac. Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz. 11510 – Puerto Real. E-mail: laura.delrio@uca.es

<sup>(2)</sup> Dpto. de Geodinámica y Paleontología. Campus El Carmen. Universidad de Huelva. 21071 Huelva. E-mail: arodrí@uhu.es

## ABSTRACT

*Aerial photographs and historical records have been analyzed to reconstruct the coastal evolution in recent times, while the erosive processes acting in the short term have been studied by means of a field monitoring program. Both working techniques do not always provide the same results and they must be combined for a realistic knowledge of the erosional state of the coast. In the Gulf of Cádiz two main causes produce coastal erosion: the construction of dams in fluvial basins and the building of coastal engineering structures. A map of morpho-erosive states has been made for the Bay of Cádiz, based on the results of the beach monitoring program and the morphometric measurements made on aerial photographs.*

**Key words:** coastal geomorphology, beach erosion, morphodynamics, Gulf of Cádiz

Geogaceta, 33 (2003), 3-6  
ISSN:0213683X

## Introducción y contexto dinámico

El litoral suratlántico español incluye más de 300 km de costas bajas arenosas donde habitan unos 750.000 habitantes, con numerosas actividades turísticas, agrícolas e industriales de enorme interés económico, a menudo amenazadas por procesos erosivos. Se trata de un ambiente mesomareal afectado por oleajes del O y SO, que producen corrientes de deriva litoral predominante hacia el E y SE. Estas corrientes, así como el rango mareal, disminuyen hacia el Estrecho de Gibraltar. El oleaje de buen tiempo suele presentar alturas significantes de 0.6 m, mientras que el oleaje de temporal alcanza alturas medias de 1.5 m (Benavente *et al.*, 2000). Los aportes sedimentarios fluviales son redistribuidos en la costa por las corrientes longitudinales, dando lugar a flechas litorales con crecimiento hacia el Este en Huelva y hacia el SE en Cádiz. En la costa de Huelva aparecen varias flechas

bien desarrolladas, que dan lugar a una distribución alternante de zonas erosivas y acumulativas: las primeras se relacionan con el arranque de flechas y localmente con zonas acantiladas (especialmente sobre materiales detríticos neógenos de la Depresión del Guadalquivir), mientras que las segundas se asocian generalmente a los extremos libres de las flechas. De este modo, el estudio de la erosión costera en el litoral onubense se simplifica en gran medida, ya que se puede concretar en zonas bien definidas. No obstante, algunas flechas onubenses presentan una clara tendencia reciente al crecimiento hacia el Oeste, lo que produce una migración inducida de las zonas erosivas en este mismo sentido. En la costa gaditana las flechas son menos abundantes, más cortas y estrechas. El principal aporte fluvial en la zona es el río Guadalete, en la Bahía de Cádiz (Fig. 1). El resto de la costa está representado por playas rectilíneas limitadas tierra adentro por acantilados sobre rocas

resistentes. Las playas más meridionales quedan restringidas en pequeñas bahías entre promontorios rocosos. Todos estos aspectos hacen que el estudio de la erosión costera en el litoral gaditano sea mucho más complejo, especialmente cuando las intervenciones antrópicas interfieren con la dinámica natural de la costa.

## Metodología

Para el estudio de los procesos de erosión costera se partió de dos fuentes de información: fotografías aéreas y seguimiento de campo. En el primer caso se procedió a la recopilación de varios vuelos fotogramétricos (entre 1956 y 2001), con el objeto de conocer las tendencias de la línea de costa en épocas recientes mediante morfometría comparada. El trabajo de campo consistió en un programa de seguimiento durante dos años, con periodicidad estacional. Se eligieron para ello 34 perfiles de playa representativos de la costa del Golfo (Fig. 1), en los que se rea-

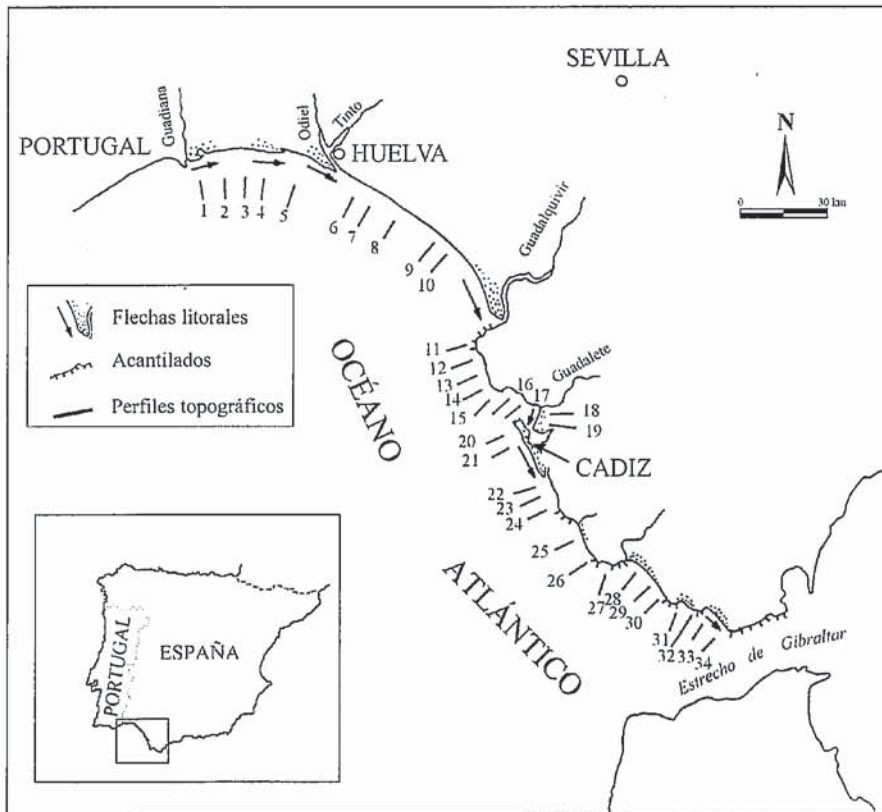


Fig. 1.- Situación del área de estudio y localización de los perfiles de playas. Las flechas indican la ubicación de las principales flechas litorales.

Fig. 1.- Study area and location of beach profiles. Arrows indicate the main littoral spits.

lizaron medidas topográficas (mediante teodolito y estación total), a partir de puntos fijos preestablecidos. Los datos topográficos se utilizaron para calcular la pendiente intermareal y analizar la morfología. También se tomaron muestras de sedimento en la zona intermareal y se realizaron determinaciones granulométricas. Los datos de oleaje se obtuvieron a partir de las dos boyas *offshore* presentes en el Golfo y pertenecientes a la red REMRO, localizadas en la zona central del Golfo. La altura de ola significativa se calculó a partir de la altura media de ola en aguas profundas registrada durante el mes anterior al perfilamiento de playa, ya que es la que registra el ritmo natural de cambio de estas playas, observado durante trabajos anteriores (Benavente *et al.*, 2000). Los estados morfodinámicos de las playas se obtuvieron mediante la aplicación de la clasificación de Wright & Short (1984).

**La erosión costera en el Golfo de Cádiz**

Los ritmos y tendencias erosivas varían mucho a lo largo de la zona estudiada, debido a diversas causas. Aparte de las tendencias recientes de ascenso del nivel del mar, la principal causa de erosión cos-

tera en el Golfo de Cádiz es la construcción de embalses en las cuencas fluviales que vierten a esta costa (Guadiana, Guadalquivir y Guadalete, fundamentalmente), a lo largo de los años sesenta a noventa, que por retención de sedimento han producido una disminución importante de los aportes de áridos. En consecuencia, el retroceso costero fue inicialmente lento en los años sesenta, pero se aceleró progresivamente hacia los ochenta, llevando a una erosión generalizada. Las diferentes velocidades de retroceso registradas dependen normalmente de factores locales, como los distintos procesos de asomeramiento del oleaje (Muñoz & Enríquez, 1998), intervenciones antrópicas, etc. En general, las tendencias progredientes se restringen únicamente a pequeñas ensenadas aisladas, a los extremos libres de flechas o a los lados acumulativos de algunos diques y espigones.

Muchas zonas costeras, especialmente en los sectores occidental y central del litoral onubense (Fig. 1, perfiles 1 a 8), han sufrido diversas intervenciones humanas en forma de diques, espigones y puertos deportivos, que han alterado notablemente la dinámica costera produciendo erosión (Ballesta *et al.*, 1998). Es

conocido el espectacular ejemplo del dique Juan Carlos I, construido en 1981 en la ría de Huelva (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 1999), y que ha producido erosión a lo largo de más de 25 km de costa por bloqueo de la deriva litoral. En el invierno 2000-2001 esta estructura llevó a un retroceso horizontal de 10-20 m en los perfiles 8, 9 y 10 (Fig. 1). La playa de Mazagón (Fig. 2a perfil 7), protegida por la zona de sombra del espigón, presenta en general poca erosión, sufriendo sólo importantes retrocesos durante la llegada de los temporales más energéticos, como el que le afectó en Enero de 1996, que produjo un retranqueo costero de 30 m en pocos días.

Los cordones dunares normalmente minimizan los efectos de las tormentas, de modo que cuando son destruidos con fines urbanísticos, las playas aledañas se erosionan más fácilmente debido a que el balance sedimentario se hace negativo (Fig. 2b, perfil 16). Este tipo de actuaciones da lugar a variaciones importantes en el comportamiento erosivo de las playas, incluso a veces en playas muy próximas entre sí; como ejemplo basta comparar los perfiles 22 (Fig. 2c, con dunas desmanteladas artificialmente) y 23 (Fig. 2d, con dunas naturales bien conservadas).

La necesidad de disponer de arena suficiente en las playas con fines turísticos ha llevado a la proliferación de labores de regeneración artificial en muchas de ellas. Los perfiles resultantes, con diseños artificiales, son mucho más sensibles a la acción del oleaje (Fig. 2e, perfil 15) y tras los temporales invernales su recuperación resulta más lenta y menos efectiva (Benavente *et al.*, 1997; Anfuso *et al.*, 2001).

Finalmente, las playas naturales expuestas muestran comportamientos muy diferentes durante la actuación de un mismo episodio energético, lo cual está relacionado con la cantidad relativa de arena existente en el sistema litoral. Algunas playas contienen un volumen de arena suficiente que les permite adoptar distintos estados morfodinámicos a lo largo del año, adaptados en todo momento a las condiciones energéticas. En estos casos las playas experimentan un cierto retroceso y arrasamiento de los perfiles en invierno, asumiendo diseños típicamente disipativos (Fig. 2f, perfil 25). Durante condiciones de buen tiempo la recuperación sedimentaria de estas playas es rápida y casi completa, mediante la llegada de barras submareales y la adquisición de perfiles intermedios a reflectivos. Las playas occidentales de Huelva siguen este comportamiento (perfiles 1 a 4). Por el

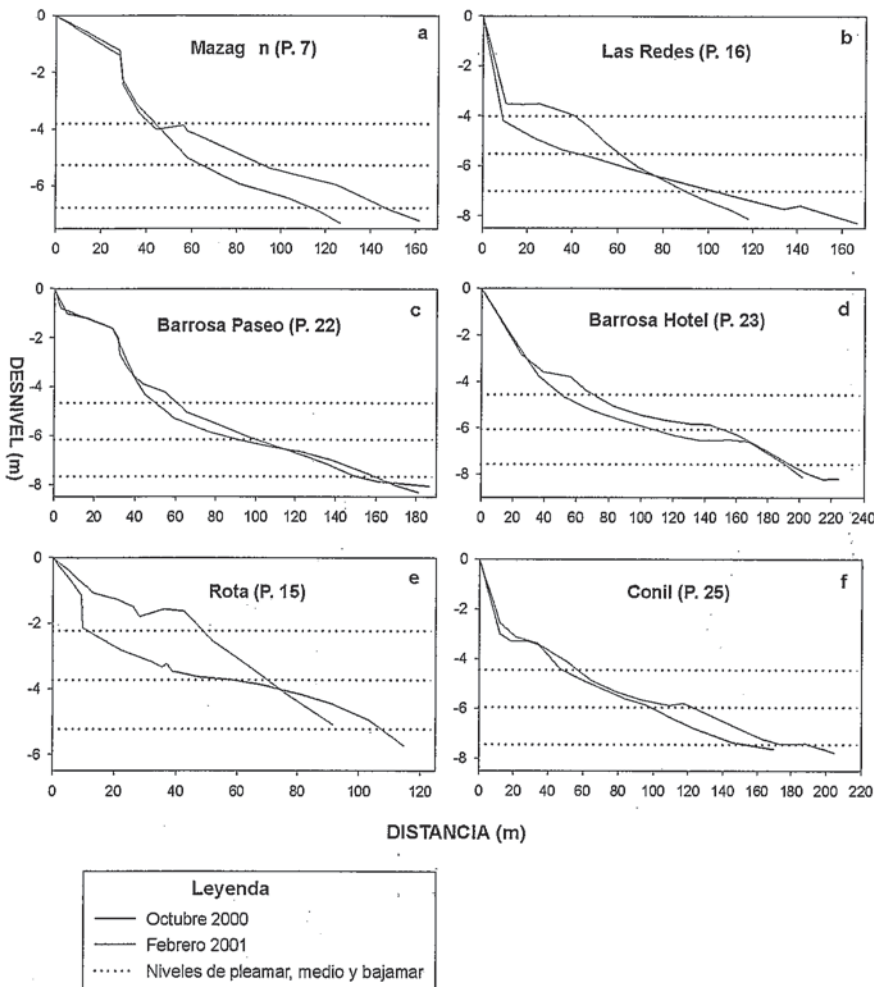


Fig. 2.- Ejemplos de cambios en perfiles de playas antes y después de un periodo invernal de energía media. Ver localización de las playas en Fig. 1

Fig. 2.- Examples of beach profile changes before and after a medium-energy winter period. Beach location in figure 1

contrario, las playas que no disponen de arena suficiente carecen de este sistema de autodefensa y sufren procesos erosivos más intensos. Los ejemplos más característicos corresponden a la Bahía de Cádiz.

#### La erosión costera en la Bahía de Cádiz

La Bahía de Cádiz (perfiles 16 a 21) constituye un buen ejemplo de variación a corto y medio plazo de los ritmos erosivos costeros. La figura 3 muestra la distribución general de tipos de playas en la Bahía atendiendo a su comportamiento morfodinámico. Los resultados muestran valores típicamente disipativos, con estados intermedios en las playas al norte de la Bahía, entre Chipiona y Rota, y estados ultradisipativos en la flecha litoral de Valdelagrana. Se ha efectuado una diferenciación entre playas que presentan el mismo estado morfodinámico durante

todo el año, y playas con comportamiento estacional en las que alternan los estados dependiendo de las condiciones energéticas imperantes. Estas últimas presentan una menor susceptibilidad a la erosión durante los episodios de tormenta.

El estudio de fotointerpretación en la Bahía de Cádiz muestra una tendencia general al retroceso costero, manifestado por diversas evidencias e indicadores morfológicos. Así, las construcciones militares costeras (bunkers) construidas en la primera mitad del S. XX sobre antiguos cordones dunares están en la actualidad caídas y expuestas en la zona intermareal. Los acantilados sobre rocas detríticas pliocuaternarias, muy comunes en la zona, muestran numerosos colapsos y movimientos de masas. Otros indicadores erosivos son la formación de escarpes en dunas, o el afloramiento del substrato rocoso en playas tras la actuación de temporales. La flecha de Sancti-Petri (Fig. 3)

muestra una cierta estabilización de su línea de costa en las últimas décadas. Sin embargo, en la actualidad existe una clara tendencia erosiva, manifestada por el afloramiento en la zona intermareal de antiguos depósitos de marisma formada a su abrigo, así como por la proliferación de abanicos de desbordamiento (*washover fan*) que cortan el cordón dunar.

Las mayores tasas de erosión se han registrado en el extremo libre de la flecha de Valdelagrana, con varios episodios de retroceso durante los últimos 25 años y un valor medio de retranqueo anual de entre 6 y 84 m. Estos episodios están claramente relacionados con etapas de construcción y alargamiento de los diques que confinan la desembocadura del río Guadalete (Fig. 3), del que se alimenta. En este sentido, la flecha de Valdelagrana ha demostrado ser muy sensible a las variaciones en el balance sedimentario provocadas por las obras portuarias construidas en su zona de arranque (Martínez-del-Pozo *et al.*, 2001).

En el resto de la Bahía la erosión costera ha sido sensiblemente inferior. Punta Candor, al norte de la Bahía, sufre un retroceso medio de 3 m/año. Otros valores también notables aunque inferiores se han registrado en las playas de Peginas y Fuentebavía (Fig. 3): en Peginas y Punta Candor por concentración energética del oleaje y disminución de los aportes del río Guadalquivir; en Fuentebavía por la construcción de espigones asociados a la Base Naval de Rota.

Finalmente, existen otras zonas en las que se registra una cierta estabilidad, manifestada por tasas de avance/retroceso inferiores a 1 m/año (playas de Camposoto, El Chato, Aguadulce y Vistahermosa). En la mayoría de los casos se trata de playas poco antropizadas o protegidas por plataformas rocosas costeras, que actúan de pantalla e impiden que el oleaje energético llegue a afectar a los cordones dunares.

#### Consideraciones finales

Las tendencias históricas de la línea de costa a partir de fotointerpretación no siempre coinciden con las tendencias actuales de variación a corto plazo registradas mediante seguimiento de campo. Por ello, es esencial la combinación de ambas escalas de trabajo para poder evaluar correctamente el estado erosivo de una costa. En el Golfo de Cádiz las causas más importantes de la erosión costera son:

- A corto plazo (meses, algunos años), las obras de ingeniería costera han provo-



Fig. 3.- Mapa de estados morfo-erosivos de playas en la Bahía de Cádiz.

Fig. 3.- Map of morpho-erosional beach states in the Bay of Cádiz.

cado procesos intensos de erosión a escala local. La construcción de diques, espigones y puertos ha llevado a un rápido retroceso costero en algunos puntos. No obstante, se suele alcanzar un nuevo estado de equilibrio al cabo de cierto tiempo.

- A medio plazo (décadas) los embalses construidos en las cuencas fluviales

provocan una retención de sedimento que contribuye al desequilibrio en el balance sedimentario litoral. A esta misma escala temporal, la destrucción de cordones dunares con fines urbanísticos también afecta negativamente a dicho balance. La consecuencia resultante en ambos casos suele consistir en

una tendencia continuada hacia la pérdida de arena.

- Finalmente, a largo plazo, el ascenso del nivel del mar magnificaría todos estos efectos. En ese sentido, entre las posibles consecuencias del calentamiento global podrían incluirse los cambios en la frecuencia y/o ciclicidad de los episodios de temporal, que también podrían afectar al equilibrio de las playas más sensibles.

**Agradecimientos**

Agradecemos a J. Román, M. Navarro, N. Ruiz, I. Ares, M. Romero y M.L. García su ayuda en trabajos de campo y laboratorio. Este trabajo es una aportación al proyecto D.G.E.S. PB98-0581 y al grupo de investigación de la Junta de Andalucía RNM 161.

**Referencias**

Anfuso, G., Benavente, J. y Gracia, F.J. (2001): *J. Coastal Conservation*, 7, 71-80.

Ballesta, M., Morales, J.A. y Acosta, E.A. (1998): *Rev. Soc. Geol. España*, 11(3-4), 285-296.

Benavente, J., Gracia, F.J. y López-Aguayo, F. (2000): *Mar. Geol.*, 167, 375-390.

Benavente, J., Reyes, J.L., Anfuso, G., Gracia, F.J. y López-Aguayo, F. (1997): *IV Jornadas Españolas de Ingeniería de Puertos y Costas*, Serv. Publ. Univ. Valencia, vol. III, 803-813.

Gracia, F.J., Anfuso, G., Macías, A., Benavente, J., Ferreira, O. y López-Aguayo, F. (2000): *Intern. Conf. on Integrated Coastal Area Management & Marine Sciences*, San Petersburgo, IOC-UNESCO, 119.

Martínez-del-Pozo, J.A., Anfuso, G. y Gracia, F.J. (2001): en E. Özhan (ed.), *Proc. 5th Intern Conf. on Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST'01*, 1425-1433.

Muñoz, J.J. y Enríquez, J. (1998): *Rev. Obras Públicas*, 3.375, 35-44.

Rodríguez-Ramírez, A., Cáceres, L.M., Rodríguez Vidal, J. y Flores, E. (1999): en L. Pallí y C. Roqué (eds.), *Avances en el estudio del Cuaternario español*, X Reun. Nac. Cuat., AEQUA y Univ. Girona, 43-48.

Wright, L.D. y Short, A.D. (1984): *Mar. Geol.*, 56, 93-118.