

*Evaluación de la  
vulnerabilidad del litoral  
noroeste de la provincia de  
Cádiz frente a la erosión*

**Laura Domínguez Garrido**

Departamento de Geología  
Facultad de Ciencias del Mar y  
Ambientales  
Universidad de Cádiz

**Francisco Javier Gracia Prieto**

Departamento de Geología  
Facultad de Ciencias del Mar y  
Ambientales  
Universidad de Cádiz

**Giorgio Anfuso Melfi**

Departamento de Geología  
Facultad de Ciencias del Mar y  
Ambientales  
Universidad de Cádiz



# EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL LITORAL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ FRENTE A LA EROSIÓN

Laura Domínguez Garrido  
Francisco Javier Gracia Prieto  
Giorgio Infuso Melfi

**RESUMEN:** En el presente trabajo se analiza la vulnerabilidad a la erosión de la costa noroccidental de la provincia de Cádiz, entre Sanlúcar de Barrameda y Rota. Se han utilizado dos vuelos fotogramétricos para reconstruir la evolución de la línea de costa entre 1956 y 2001. También se ha recopilado información sobre actividades humanas y usos de la costa. La vulnerabilidad costera a la erosión se ha estimado mediante la combinación semicuantitativa de las tasas de retroceso y los diferentes tipos de usos. Los resultados muestran que más de un tercio del litoral estudiado se encuentra en situación de riesgo, cuya alta vulnerabilidad en general se debe a la combinación de altas tasas de erosión (entre 1,5 y 3 m/año) con usos urbanísticos o agrícolas. También se ha calculado la localización que tendrá la línea de costa en los próximos 15 años de mantenerse la actual tendencia erosiva, resultando en un retroceso que afectaría a diversos asentamientos y complejos turísticos de la zona. Las actuales medidas de defensa costera, consistentes básicamente en revestimientos, deberían sustituirse por regeneraciones artificiales de las playas más deficitarias.

**PALABRAS CLAVE:** erosión costera, fotointerpretación, Golfo de Cádiz

**ABSTRACT:** This study examines coastal vulnerability to erosion on Cadiz' northwest coast, between the villages of Sanlúcar de Barrameda and Rota. Two photogrammetric flights were used to reconstruct coastal evolution between 1956 and 2001 and several sources were compiled to assess human activities and land uses in the coastal zone. A semi-quantitative combination of the potential coastal advance/retreat and different land use types was used to assess coastal vulnerability to erosion. The results show that more than a third of the zone under study is highly vulnerable, owing to a combination of strong retreat trends (between 1.5 and 3 m/year) and urban or agricultural uses. A forecast of the coastline's location in 15 years devised on the basis of the coast's current evolution predicts a coastal retreat that would affect different settlements and tourist resorts in the zone. Current coastal protective measures mainly consist in revetments and should be replaced by the artificial nourishment of deficient beaches.

**KEY WORDS:** coastal erosion, aerial photointerpretation, Gulf of Cádiz.

## 1. Introducción

Aunque el retroceso costero constituye un fenómeno no siempre ligado a causas antrópicas, cuando afecta o amenaza cualquier tipo de actividad o infraestructura humana entonces constituye un riesgo natural con evidentes implicaciones en la gestión de las costas (Short 1999). En el Golfo de Cádiz el retroceso costero y la erosión de playas están ligados fundamentalmente a la actuación de temporales invernales (Rodríguez et al., 2003). Para el estudio de la estabilidad de las costas resulta fundamental cuantificar los ritmos y tasas de erosión, ya que se trata de un proceso generalmente rápido que actúa a escala humana. Este tipo de datos tienen aplicaciones muy diversas, como la ubicación de instalaciones e infraestructuras en lugares seguros, la elaboración de planes de gestión, etc.

Habitualmente esta información se obtiene del análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite, herramientas muy útiles también para la elaboración de mapas geomorfológicos y ambientales, para la clasificación de formas y ambientes costeros, para conocer los efectos de los temporales marítimos, el grado de ocupación antrópica, etc. (Crowell *et al.*, 1991; Valpreda y Simeoni 2003). En este sentido, existen numerosos ejemplos de aproximaciones a la evaluación de la vulnerabilidad de las costas frente a la erosión a partir de parámetros físicos y ambientales (Cooper y McLaughlin, 1998; García *et al.*, 2001; McLaughlin et al., 2002). Además, la comparación de fotografías, imágenes y mapas de distintas épocas permite establecer ritmos de cambio y tasas de retroceso costero, añadiendo una componente temporal y evolutiva al análisis de la erosión (Garrote y Garzón, 2004). De igual modo, la incorporación de datos socioeconómicos y demográficos resulta indispensable para una

correcta evaluación de áreas vulnerables a la erosión (Gornitz, 1990).

Por otro lado, Hansom (2001) indica que las administraciones y los gestores costeros a menudo tienen una visión inadecuada de los problemas de erosión costera, ya que normalmente la consideran como un proceso a corto plazo. Se trata en realidad de un proceso que actúa tanto a corto como a medio y largo plazos, de modo que conviene tomar medidas que incluyan la adaptación de usos costeros a posibles cambios lentos y progresivos.

En el presente trabajo se realiza una aproximación a la vulnerabilidad frente a la erosión de un tramo costero del litoral gaditano correspondiente a su sector más septentrional, entre Sanlúcar de Barrameda y Rota. Para ello se comparan datos referentes a retroceso costero durante las últimas décadas, con los usos actuales que presenta dicho litoral. La información sobre retroceso de la línea de costa se ha obtenido a partir de la comparación de fotografías aéreas correspondientes a distintos años. Los datos sobre usos del territorio litoral se han estimado a partir de diversa información preexistente y de inspección de campo.

## 2. Área de estudio

El litoral estudiado presenta 23 km de longitud y está limitado al Norte por el municipio de Sanlúcar de Barrameda, localizado en la orilla meridional de la desembocadura del río Guadalquivir, y al Sur por el municipio de Rota, en el extremo septentrional de la Bahía de Cádiz. Se distinguen en él dos tramos rectilíneos con orientaciones prácticamente perpendiculares: NE-SO al Norte, entre Sanlúcar y Chipiona, y NNO-SSE en el centro y Sur, entre Chipiona y Rota (Fig. 1).

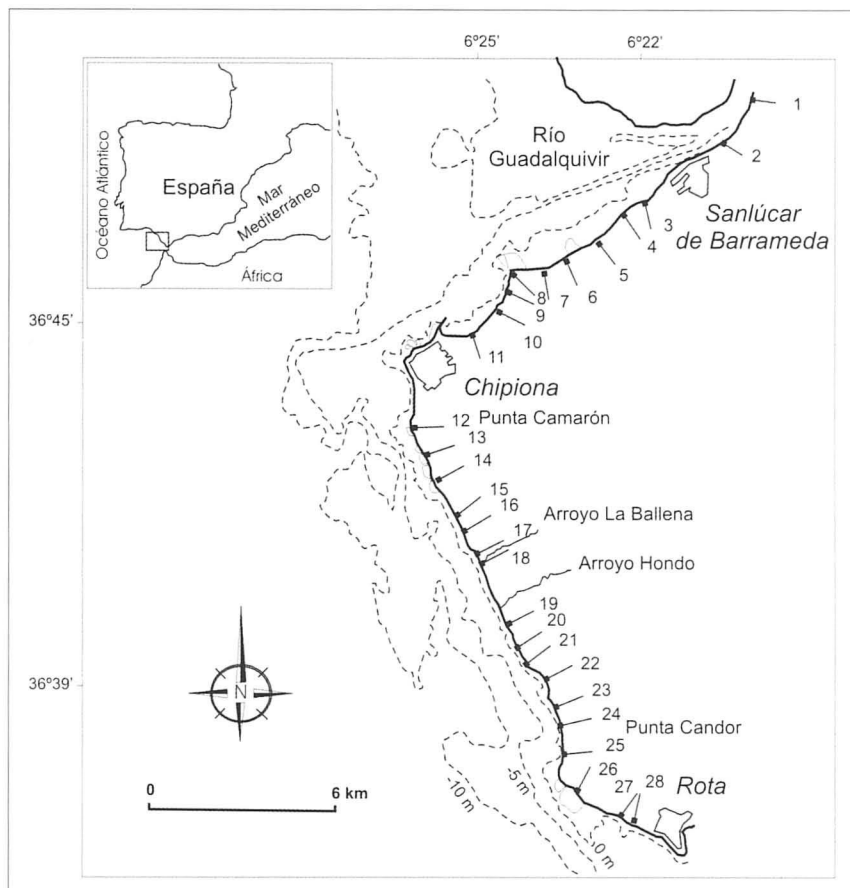


Figura 1. Situación de la zona de estudio. Se incluyen los transectos utilizados para la medición de tasas de avance/retroceso de la línea de costa

El ambiente costero predominante está representado por playas arenosas de distinta anchura y desarrollo, compuestas por arenas finas de cuarzo, que aumentan gradualmente su granulometría hacia el Sur. Las playas están limitadas hacia el interior por dunas y acantilados bajos. Las dunas, generalmente de unos 2 - 3 m de altura (aunque localmente pueden superar los 10 m), aparecen en Punta del Espíritu Santo, Punta Montijo y Punta Camarón, así como entre Punta Candor y Rota, donde están fijadas por un pinar de repoblación.

Los acantilados están labrados sobre materiales blandos (arenas, limos y arcillas, predominando estas últimas hacia el Sur) de edad Plio-Pleistocena. No afloran, en este tramo, materiales resistentes como los que caracterizan a los acantilados de la Bahía de Cádiz, constituidos por conglomerados pliocenos. En el caso de estudio se trata de ambientes muy sensibles al ataque del oleaje, y alcanzan una altura máxima de 10 m en Punta Montijo. Al Sur de Punta Camarón presentan unos 3 - 4 m, disminuyendo progresivamente su altura hacia el

Sur hasta Punta Candor, donde son cubiertos por dunas remontantes. El retroceso secular de estos acantilados ha dado origen a amplias plataformas rocosas, de hasta 500 m de anchura en Punta Montijo, Punta Camarón y Punta Candor, muy controladas por la estructura tectónica, que se desarrolla de manera discontinua en las zonas inter y submareal.

Según Muñoz y Enríquez (1998) este tramo costero conforma una unidad fisiográfica homogénea que no recibe aportes sedimentarios importantes de origen fluvial o marino. Los aportes del río Guadalquivir, muy mermados por la proliferación de embalses en su cuenca, consisten básicamente en sedimentos finos que se acumulan en la plataforma continental conformando un delta sumergido al Norte y Oeste de la zona de estudio (Lobo *et al.*, 1996). Además, las plataformas rocosas dificultan la recuperación sedimentaria de las playas tras los eventos energéticos. Por otro lado, la erosión de los acantilados aporta generalmente sedimento de grano fino, que influye muy poco en el balance sedimentario de estas playas.

El litoral objeto de estudio presenta un carácter mesomareal, con rangos medios de marea viva y muerta de 3.2 m y 1.1 m respectivamente. Los vientos dominantes soplan del ESE («levante», con una frecuencia media anual del 19,6%) y del ONO («poniente», con una frecuencia del 12,8%). La altura de ola significativa media generalmente no supera el metro de altura, aunque puede sobrepasar los 3 m durante la actuación de temporales (Reyes *et al.*, 1999). El oleaje predominante se aproxima a la costa desde el Oeste – Noroeste. La orientación costera condiciona así la existencia de una deriva litoral dominante hacia el NE entre Chipiona y Sanlúcar, y hacia el SE entre Chipiona y Rota.

Como en muchos otros sectores del litoral español, la ausencia de una auténtica

política de gestión costera en la zona de estudio ha tenido como consecuencia en las últimas décadas una ocupación urbanística caótica. Los principales núcleos urbanos de la zona (Sanlúcar, Chipiona y Rota) experimentaron un espectacular crecimiento demográfico durante la última década, que ha llevado a que en la actualidad la población concentrada en el litoral supere ampliamente los 100.000 habitantes, que se duplica durante los meses de verano.

Los principales usos costeros están relacionados con actividades turísticas. Se trata básicamente de usos urbanísticos, tanto dispersos (segundas viviendas) como concentrados en urbanizaciones turísticas concretas (como Costa Ballena, entre Chipiona y Rota). Otros usos también habituales consisten en la explotación agrícola de los suelos (generalmente hasta el mismo borde de los acantilados). Finalmente, de manera mucho más puntual existen también usos pesqueros, industriales, militares y recreativos. La mayor parte de estas actividades e instalaciones se encuentran en la actualidad sometidas a riesgo de erosión, que en algunos casos se manifiesta en forma de pérdidas y daños de diversa cuantía (Fig. 2 y 3). En muchas ocasiones se trata de asentamientos ubicados en las zonas de «servidumbre» e «influencia» definidas por la vigente Ley de Costas.

### 3. Metodología

Como se ha indicado anteriormente, el presente trabajo se basa en la interpretación de diferentes fotografías aéreas. Aunque se analizaron fotografías correspondientes a vuelos de los años 1956, 1977, 1984, 1989, 1992, 1994 y 2001 (Domínguez *et al.*, 2004), para el presente estudio se optó por considerar únicamente los fotogramas de 1956 y 2001, a escalas 1:33.000 y 1:5.000, respectivamente. Las fotografías se utilizaron para

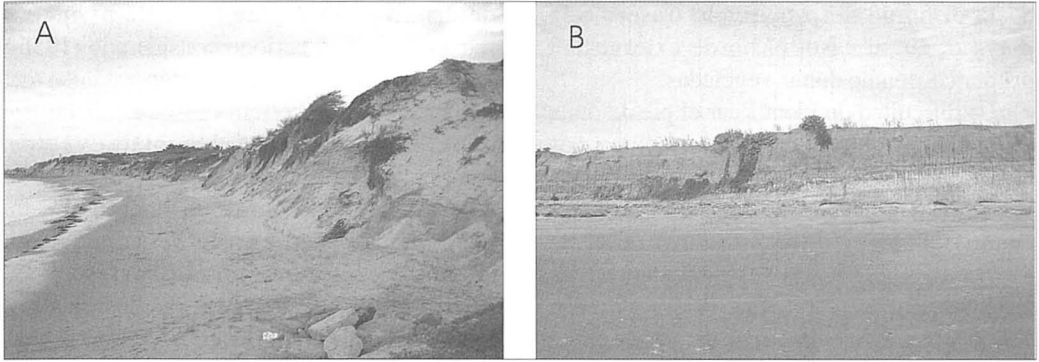


Figura 2. (a) Escarpe en cordón dunar próximo a Punta Candor; (b) erosión de acantilado en la playa de La Ballena.



Figura 3. Colapso de un aparcamiento costero debido a procesos de erosión cerca de Punta Candor.

identificar y cartografiar formas costeras (playas, dunas móviles, dunas vegetadas, bordes de acantilados, etc.), que fueron luego revisadas mediante inspección de campo.

La reconstrucción de la evolución reciente de la línea de costa se realizó mediante la medición de 28 transectos perpendiculares a la línea de costa y espaciados más o menos homogéneamente (Fig. 1). Los transectos se trazaron como líneas rectas que

unen varios puntos de referencia fijos e identificables en todas las fotos, como cruces de carreteras y caminos, esquinas de edificaciones, etc. Se midió así sobre cada foto la distancia entre los puntos de referencia y la línea de costa. De cara a evitar errores ligados a la actuación de mareas astronómicas y meteorológicas (Dolan *et al.*, 1980; Moore, 2000; Pajak y Leatherman, 2002), se tomó como línea de

costa el borde del acantilado trasero a la playa o, en su caso, el borde externo del primer cordón de dunas vegetadas.

La dificultad de identificar el pie de duna en imágenes sin visión estereoscópica nos llevó a recurrir a la medición de transectos sobre pares estereoscópicos. Ello obligó a cuantificar las distintas fuentes de error asociadas a los fotogramas utilizados en las medidas. En primer lugar, se compararon distancias entre puntos de referencia observados en las fotografías con los correspondientes valores medidos en el mapa topográfico de Andalucía a escala 1:10.000 (Instituto Cartográfico de Andalucía, 2000). De este modo se calcularon la precisión y escala reales de cada fotograma, así como el error de medida expresado en porcentaje (e%). Los errores calculados se aplicaron posteriormente a cada una de las medidas realizadas sobre los 28 transectos (Domínguez *et al.*, 2004).

De cara a expresar las tasas de retroceso o avance de la línea de costa en m/año, es muy importante calcular los errores derivados de la comparación entre los dos vuelos considerados. De este modo se estimaron los errores máximos (por exceso, +iM) y mínimo (por defecto, -im) derivados de la comparación de fotogramas tomados en dos años distintos:

$$A = DM + (+iM);$$

$$B = Dm - (-im);$$

$$E = [(A - B)/45] - T$$

donde DM es la distancia mayor y Dm es la distancia menor, 45 es la amplitud temporal en años, T es la tasa medida de retroceso/avance (en m/año) y E es el error final expresado en metros de avance/retroceso por año para la tasa considerada.

La comparación de los resultados obtenidos requiere unificar los datos utilizando variables y unidades de medida objetivas y suficientemente representativas. Para ello se eligieron dos parámetros (Fig. 4): por un lado, el error calculado en la

determinación de las tasas de avance/retroceso para el periodo considerado (1956-2001), y por otro la desviación estándar de las tasas de avance/retroceso calculadas en cada transecto para los siete vuelos fotogramétricos analizados. No obstante, la determinación visual de la línea de costa puede incluir cierto grado de subjetividad según el tipo de ambiente costero y su dinámica: un pie de duna puede registrar tanto retroceso como avance, pero el seguimiento de un borde de acantilado sólo registra retroceso. Para solventar este problema se usaron los errores obtenidos para definir zonas estables (cuando la tasa medida era inferior al rango de error, línea discontinua en la figura 4) y se utilizó la desviación estándar para definir las tendencias claras de avance/retroceso en cada transecto (línea continua en la figura 4). A la luz de estos resultados, se obtuvieron cinco tipos de tendencia de cambio costero: retroceso fuerte y moderado, estabilidad, y avance moderado y fuerte.

Por último, la caracterización de usos del territorio costero se realizó mediante recopilación y comparación de diversas fuentes de información: fotos aéreas oblicuas (2001) y verticales (2002) a escala 1:5.000 tomadas por la Demarcación de Costas de Andalucía – Atlántico (Ministerio de Medio Ambiente) y mapas de usos del suelo de la Junta de Andalucía (2000) y de la Diputación Provincial de Cádiz (2003). Esta información fue complementada con una observación sistemática de campo de las actividades humanas y grado de ocupación de la costa. Posteriormente se procedió a agrupar todas estas actividades en cuatro grupos básicos: uso urbanístico denso, ídem disperso, uso agrícola y uso recreativo. Finalmente, los datos obtenidos se relacionaron con las tendencias de evolución costera derivadas del estudio fotogramétrico y se elaboró un mapa final de vulnerabilidad de esta costa frente a la erosión.



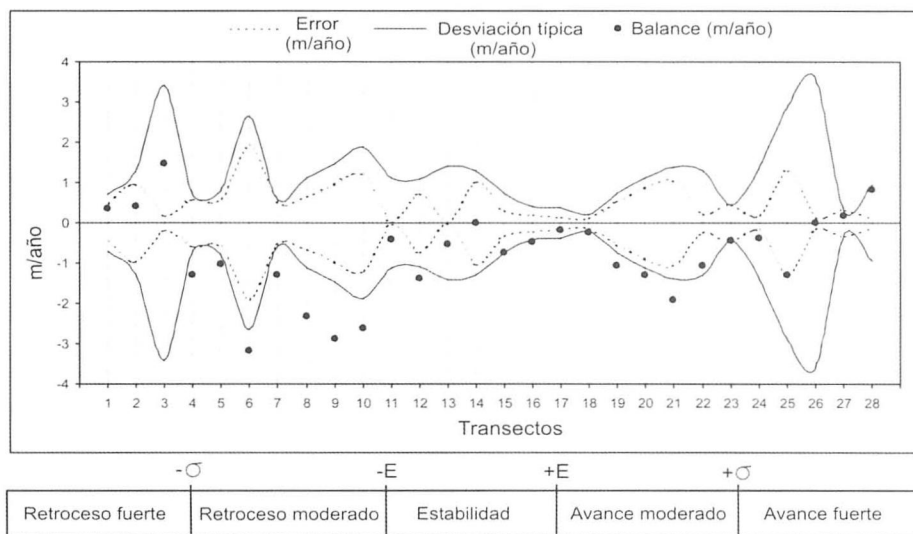


Figura 4. Tasas de avance/retroceso obtenidos en los 28 transectos para el periodo 1956-2001. Con líneas discontinuas se han representado los errores (E) asociados a las mediciones fotogramétricas. La línea continua representa la desviación estándar ( $\sigma$ ) de las tasas obtenidas.

#### 4. Resultados

Ninguno de los transectos estudiados registró avance fuerte; tan sólo se registró avance moderado en los perfiles 3 y 28; los demás perfiles mostraron estabilidad o erosión, y en 11 de ellos se registró fuerte retroceso (Fig. 4). La mayor erosión tuvo lugar en el sector septentrional, entre Sanlúcar y Chipiona, y también puntualmente en Peginas. Las elevadas tasas de erosión en el tramo Sanlúcar-Chipiona están asociadas al carácter fácilmente erosionable de los materiales aflorantes en los acantilados (arenas y limos, fundamentalmente), así como a la orientación de la línea de costa, que en este caso se encuentra muy expuesta a los temporales marítimos del Noroeste.

Solamente se registró estabilidad en torno a la Punta del Espíritu Santo y en la playa de Tres Piedras (Fig. 5). En Punta del Espíritu Santo de hecho se midió un cierto

avance costero, probablemente debido al aporte sedimentario suministrado por el río Guadalquivir y sobre todo a la acción puntual de vientos del NE, que redistribuyen arena previamente acumulada por las corrientes de deriva litoral. En Tres Piedras el proceso de avance y acreción se debe a su situación protegida frente al oleaje y al predominio local de corrientes litorales dirigidas hacia el Noroeste, que interaccionan con la plataforma rocosa provocando acumulación sedimentaria en condiciones de bajamar (Anfuso y Gracia, 2005).

En la zona de estudio se han llevado a cabo algunas obras puntuales de protección frente a la erosión con el objeto de resolver problemas urgentes concretos. Se trata de medidas remediadoras, no tienen carácter preventivo ni obedecen a ningún plan de gestión de la erosión costera. Las más importantes consisten en revestimientos con bloques de escollera al pie de algunos acantilados, con el fin de proteger viviendas de

temporada o infraestructuras turísticas amenazadas de colapso inminente (Figs. 2 y 3). Por otro lado, en los municipios de Chipiona y en Rota se construyeron dos pequeños espigones, así como un rompeolas sumergido en Chipiona para bloquear el transporte sedimentario longitudinal y provocar la acumulación de arena en playas urbanas regeneradas artificialmente (Anfuso *et al.*, 2001).

Las actividades humanas presentes a lo largo del litoral se representaron cartográficamente atendiendo a cuatro principales tipos de usos: i) «urbanístico denso», referido a los principales núcleos urbanos; ii) «urbanístico disperso», que incluye zonas con baja ocupación, básicamente segundas viviendas y granjas; iii) «agrícola» y iv) «naturalístico/recreativo», que incluye los pinares sobre dunas de Punta Candor y el campo de golf próximo a la playa de La Ballena (Fig. 5).

## 5. Discusión

La idea de vulnerabilidad costera frente a la erosión deriva del concepto de riesgo, considerado éste no sólo porque la erosión costera amenaza estructuras antrópicas, sino también porque la erosión de las playas reduce su capacidad de carga turística o recreativa. La anchura de las playas es prácticamente constante a lo largo de la zona de estudio y todas ellas ejercen el mismo papel protector de la costa ante la llegada de temporales. Por ello, la caracterización de los tipos o clases de vulnerabilidad se ha realizado en base a las tasas de retroceso/avance potencial de dunas y acantilados para el periodo 1956-2001, combinadas con los tipos de usos de la costa. De este modo se han obtenido cinco tipos principales de vulnerabilidad: muy alta, alta, media, baja y muy baja-nula (Fig. 5 y Tabla I).

Tabla I. Distribución de tipos de vulnerabilidad en el litoral estudiado.

	<b>Vulnerabilidad</b>					<b>Total</b>
<b>Tipos</b>	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja-nula	
<b>Longitud (km)</b>	0,5	2,7	5,0	9,3	5,1	22,6
<b>Porcentaje</b>	2,21%	11,94%	22,12%	41,15%	22,56%	100%

Los resultados muestran que más de un tercio del litoral estudiado se encuentra en situación de riesgo. Valores de vulnerabilidad muy alta sólo se registran en Sanlúcar de Barrameda, debido al efecto combinado de un fuerte ocupación costera y una alta tasa de retroceso (1,5 m/año). En general, los tramos que muestran vulnerabilidad alta y media resultan de la combinación de tasas de

erosión moderadas/fuertes con usos urbanísticos o agrícolas (Fig. 5). Los dos tercios restantes presentan vulnerabilidad baja o muy baja, resultado de una alta ocupación en tramos estables (como el litoral de Chipiona, protegido por obras de defensa), o una ocupación baja/nula en zonas estables o en leve retroceso.

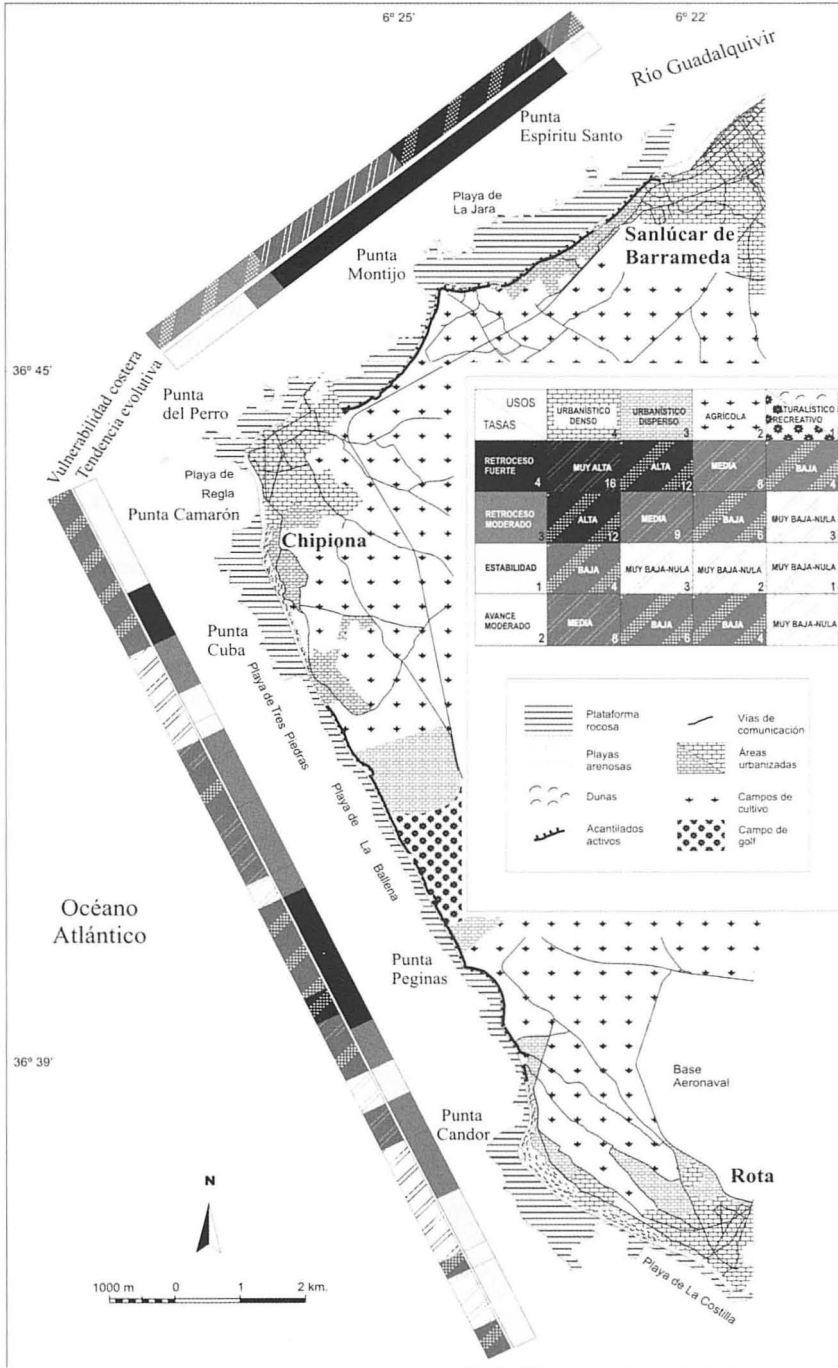


Figura 5. Principales unidades geomorfológicas, tasas de avance/retroceso, tipos de usos y grados de vulnerabilidad costera del litoral estudiado.

Por otro lado, los resultados obtenidos permiten identificar «zonas de colapso inminente» (ZCI). Según Crowell et al. (1999), la ZCI se define como la zona litoral a partir de la línea de costa (en este caso a partir del borde de acantilado o de la base del primer cordón dunar), con una anchura equivalente a cinco veces la tasa media anual de retroceso costero. Las mayores tasas de retroceso obtenidas en la zona son de 3 m/año para el sector norte y de 1,5 m/año para el sector Chipiona – Rota. En el primero de ellos la ZCI se localizaría a 15 m de la línea de costa, mientras que en el segundo se ubicaría a 8,5 m. Muchas construcciones e infraestructuras se sitúan actualmente dentro de la ZCI, especialmente entre Punta del Espíritu Santo y Punta Montijo, así como en las playas de Tres Piedras.

Los resultados también sirven para calcular la «costa de 15 años», es decir, la posición que previsiblemente tendrá la línea

de costa dentro de 15 años si se mantiene la actual tasa de retroceso. Se ha elegido un periodo de 15 años por constituir un tercio del periodo analizado en el cálculo del retroceso costero, procedimiento habitual en este tipo de estudios (Smith y Zarillo, 1990; Crowell *et al.*, 1991). Para el sector norte la costa de 15 años se ubicaría a 45 m de la orilla, mientras que para el sector centro-meridional se localizaría a 22,5 m de la actual línea de costa. Esta última incluye parte del complejo turístico de Costa Ballena (Fig. 6).

Los resultados obtenidos muestran que la costa entre Sanlúcar de Barrameda y Rota constituye un litoral muy vulnerable al retroceso costero. Esta alta vulnerabilidad se debe no sólo a las generalmente altas tasas de retroceso erosivo de la línea de costa, relacionadas con la orientación de dicho tramo y su exposición a los temporales energéticos atlánticos, así como con la disminución de aportes sedimentarios del río



Figura 6. Búnker caído en la zona intermareal de la playa de La Ballena. Originalmente esta estructura fue construida en los años 30 encima del acantilado en retroceso.

Guadalquivir en las últimas décadas, sino especialmente a la ocupación urbanística de distintos puntos que hace aumentar considerablemente las pérdidas económicas potenciales ligadas a la erosión. La delimitación de «zonas de colapso inminente» y de la «línea de costa de 15 años», reflejan la ubicación de urbanizaciones turísticas y otros asentamientos en claras zonas de riesgo.

Esta situación erosiva se manifiesta en la actualidad, de tal modo que ha sido necesaria la actuación de la Demarcación de Costas de Andalucía – Atlántico para llevar a cabo obras de protección y defensa de distintos tramos de costa, como revestimientos o labores muy puntuales de regeneración artificial. Sin embargo, la mayoría de los revestimientos de escollera existentes en la zona no han resultado muy eficaces y han desencadenado erosión en sus inmediaciones, a ambos lados de las estructuras (Fig. 7). Probablemente, las mejores soluciones

para estos problemas puntuales de erosión serían el abandono o la reubicación de estructuras y asentamientos amenazados por la erosión costera, en su mayor parte segundas viviendas, y la protección de áreas densamente urbanizadas mediante estructuras de defensa. Sin duda, la mejor medida de defensa costera consiste en mantener playas con suficiente volumen de sedimento, por lo que sería preferible recurrir a obras de regeneración de playas, acompañadas o no de pequeñas estructuras de retención de arena como diques terminales. La existencia de playas de gran anchura y volumen constituirían importantes fuentes de ingresos económicos mediante su uso recreativo y balneario, especialmente en el municipio de Sanlúcar de Barrameda y en la urbanización de La Ballena. Esta última se ha construido sobre un tramo de costa acantilada en rápido retroceso, donde la única protección del acantilado consiste en una playa estrecha y deficitaria no muy atractiva para los bañistas.



Figura 7. Revestimiento de escollera instalado para proteger una vivienda de verano en la playa de Peginas. Obsérvese a la izquierda la erosión del microacantilado cercano.

En cuanto a las posibles fuentes de arena necesaria para las obras de regeneración de playas, puede recurrirse al dragado de zonas sublitorales o de las entradas de puertos cercanos que necesitan de un mantenimiento periódico (Rota, Chipiona, Cádiz, etc.). Ciertos volúmenes de sedimento podrían también obtenerse de algunas playas excedentarias, donde el viento exporta arena fuera del sistema litoral, restándola del balance sedimentario litoral (como sucede en las proximidades de la Punta del Espíritu Santo o en Tres Piedras).

## Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto BTE 2003-05706 (Ministerio de Ciencia y Tecnología - F.E.D.E.R.) y al Grupo de Investigación RNM 328 (P.A.I.).

## Bibliografía

ANFUSO, G., BENAVENTE, J. y GRACIA, F. J. (2001): «Morphodynamic response of nourished beaches in SW Spain». *Journal of Coastal Conservation*. nº 7, págs. 71-80.

ANFUSO, G. y GRACIA, F. J. (2005): «Morphodynamic characteristics and short-term evolution of a coastal sector in SW Spain: implications for coastal erosion management». *Journal of Coastal Research*. nº 21 (en prensa).

COOPER, J. y McLAUGHLIN, S. (1998): «Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis». *Journal of Coastal Research*. nº 14 (2), págs. 512-524.

CROWELL, M., LEATHERMAN, S.P. y BUCKLEY, M. (1991): «Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy». *Journal of Coastal Research*. nº 7 (3), págs. 839-852.

CROWELL, M., LEIKIN, H. y BUCKLEY, M. (1999): «Evaluation of coastal erosion hazards study: an overview». *Journal of Coastal Research*. nº espec. 28, págs. 2-9.

DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE CÁDIZ (2003): *Agenda 21 de la Costa Noroeste de la Provincia de Cádiz*. Servicio de Publicaciones Diputación de Cádiz.

DOLAN, R., HAYDEN, B., MAY, P. y SUZETTE, R. (1980): «The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs». *Shore and Beach*. nº 48, págs. 22-29.

DOMÍNGUEZ, L., GRACIA, F. J. y ANFUSO, G. (2004): «Tasas de avance/retroceso de la línea de costa mediante morfometría fotogramétrica en el sector Sanlúcar de Barrameda-Rota (Provincia de Cádiz)». *Revista Sociedad Geológica de España*. nº 17 (1-2), págs. 71-86.

GARCÍA, M., GALLEGO, J., WILLIAMS, A. T. y GARCÍA, F. (2001): «A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula». *Journal of Coastal Research*. nº 17 (4), págs. 802-811.

GARROTE, J. y GARZÓN, G. (2004): «Análisis del retroceso del frente de costa usando fotografías aéreas, Oyambre (Cantabria)». En: *Procesos geomorfológicos y evolución costera* (R. Blanco, J. López y A. Pérez Alberti, eds.). Univ. Santiago de Compostela, págs. 51-65.

GORNITZ V. (1990): «Vulnerability of the East Coast, USA to future sea level rise». *Journal of Coastal Research*. nº espec. 9 (1), págs. 201-237.

HANSOM, J. (2001): «Coastal sensitivity to environmental change: a view from the beach». *Catena*. nº 42 (2-4), págs. 291-305.

INSTITUTO CARTOGRÁFICO DE ANDALUCÍA (2000): *Mapa de Andalucía, escala 1:10.000*. Junta de Andalucía.

LOBO, F. J., HERNÁNDEZ MOLINA, F. J., MALDONADO, A. y RODERO, J. (1996): Los campos de ondas de arena en la plataforma continental del Golfo de Cádiz entre Chipiona y Zahara de los Atunes. *Geogaceta*, 20 (2), p. 420-423.

McLAUGHLIN, S., McKENNA, J. y COOPER, J. A. (2002): «Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities». *Journal of Coastal Research*. n° espec. 36, págs. 487-497.

MOORE, L. (2000): «Shoreline mapping techniques». *Journal of Coastal Research*. n° 16 (1), págs. 111-124.

MUÑOZ, J. J. y ENRÍQUEZ, J. (1998): «Dinámica litoral de una unidad fisiográfica completa: Sanlúcar-Rota». *Revista de Obras Públicas*. n° 3375, págs. 35-44.

PAJAK, M. J. y LEATHERMAN, S. (2002): «The high water line as shoreline indicator». *Journal of Coastal Research*. n° 18 (2), págs. 329-337.

REYES, J. L., MARTINS, J. T., BENAVENTE, J., FERREIRA, O.,

GRACIA, F. J., DIAS, J. A. y LÓPEZ-AGUAYO, F. (1999): «Gulf of Cadiz beaches: a comparative response to storm events». *Boletín Español de Oceanografía*. n° 15 (4), págs. 221-228.

RODRÍGUEZ, A., RUIZ, F., CÁCERES, L., RODRÍGUEZ, J., PINO, R. y MUÑOZ, J. (2003): «Analysis of the recent storm record in the southwestern Spanish coast: implications for littoral management». *The Science of the Total Environment*. n° 303, págs. 189-201.

SHORT, A. D. (1999): *Beach and Shoreface morphodynamics*. J. Wiley & Sons.

SMITH, G. y ZARILLO, G. (1990): «Calculating Long-Term Shoreline Recession rates Using Aerial Photographic and Beach Profiling Techniques». *Journal of Coastal Research*. n° 6 (1), págs. 111-120.

VALPREDÁ, E. y SIMEONI, U. (2003): «Assessment of coastal erosion susceptibility at the national scale: the Italian case». *Journal of Coastal Conservation*. n° 9 (1), págs. 43-48.