



Sociedad Española
de Geomorfología



SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE GEOMORFOLOGÍA

Las dunas en España Eulalia Sanjaume Saumell / F. Javier Gracia Prieto (Eds.)



Las dunas en España

Eulalia Sanjaume Saumell
F. Javier Gracia Prieto (Eds.)

Sociedad Española de Geomorfología

Las dunas en España

Eulalia Sanjaume y Francisco Javier Gracia (Eds.)

Este libro está auspiciado y editado por la Sociedad Española de Geomorfología, a través de la Fundación Empresa-Universidad Gallega.

Fotos de cubiertas:

Portada: Duna móvil durante un temporal de viento de levante en la flecha litoral de la Punta del Boquerón; al fondo la isla de Sancti Petri (San Fernando, Cádiz).

Contraportada: Frentes dunares móviles de tipo barjanoide en el complejo dunar de Maspalomas, vistos desde la Terraza del Inglés (Gran Canaria).

ISBN: 978-84-615-3780-8

Depósito Legal:

Maquetación: Candela**Ink**

Impresión: Encuadernaciones Martínez

Calle Francia, 5. Polígono Industrial “El Trocadero”

Edificio Bahía – Nave 27 · 11510 Puerto Real (Cádiz)

encumar@encumar.com



14. Las dunas del litoral gaditano

F.J. Gracia¹; J. Benavente¹; C. Alonso²; L. Del Río¹, J.M. Abarca³, G. Anfuso¹ y J. García de Lomas⁴

1. Introducción

La costa suratlántica de la Península Ibérica presenta un notable desarrollo de edificios dunares costeros, asociados a las condiciones favorables que se dan en esta zona: amplias playas alimentadas por ríos importantes, un amplio rango de mareas y una moderada o escasa ocupación antrópica de la franja costera. Por otro lado, los fuertes vientos dominantes en los alrededores del Estrecho de Gibraltar favorecen la generación de edificios dunares de grandes dimensiones. Desde un punto de vista dinámico, la costa gaditana se caracteriza por un régimen de oleaje de energía media-baja y un rango de mareas de tipo mesomareal (en torno a 3 m), que da lugar a playas amplias de granulometría fina. El rango de mareas disminuye progresivamente hacia el Estrecho de Gibraltar (en torno a 1 m), para situarse por debajo de los 0,5 m en el litoral mediterráneo, donde las playas presentan anchuras menores y tamaños de grano más gruesos.

La costa gaditana presenta un clima mediterráneo, aunque su exposición atlántica hace que registre una mayor humedad atmosférica, mayor pluviometría y temperaturas máximas y mínimas más suaves que en otras zonas mediterráneas. La estación seca y cálida dura normalmente más que la estación húmeda y fría. La precipitación media anual ronda los 600 mm (Sánchez, 1988) y se distribuye básicamente en otoño-invierno. El verano se caracteriza por condiciones cálidas y secas, derivadas del fortalecimiento y extensión del Anticiclón de las Azores so-

1. Dpto. de Ciencias de la Tierra; Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). E-mail: javier.gracia@uca.es; javier.benavente@uca.es; laura.delrio@uca.es; giorgio.anfuso@uca.es

2. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Consejería de Cultura, Junta de Andalucía. Avda. Duque de Nájera, 3. 11002 Cádiz. E-mail: carlos.alonso@ono.es

3. Demarcación de Costas de Andalucía Atlántico. c/ Marianista Cubillo, 1. Cádiz. E-mail: jabarca@mma.es

4. Area de Ecología, Dpto. de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. 11510 Puerto Real (Cádiz). E-mail: Juan.garciadelomas@uca.es

bre Europa central. Bajo estas condiciones los vientos secos de levante dominan en el Golfo de Cádiz, soplando desde el Mediterráneo. Cuando estas masas de aire pasan a través del Estrecho de Gibraltar, su canalización provoca una aceleración debido al efecto Venturi. Una vez en el Golfo de Cádiz, este viento diverge y afecta a la costa gaditana soplando fundamentalmente desde el SE (Fig. 1). Estos vientos tienen una frecuencia anual del 19,6%, que aumenta muchos en las épocas de sequía, y una velocidad media de 27,8 km/h en la Bahía de Cádiz, con rachas ocasionales que superan los 110 km/h (Sánchez, 1988), por lo que juegan un papel importante en los procesos de transporte eólico. En invierno, los núcleos ciclónicos del Atlántico Norte se hacen más fuertes, y pueden tomar trayectorias más meridionales y alcanzar el sur de España. Bajo estas circunstancias predominan los vientos húmedos atlánticos de poniente, procedentes del W y WNW (Fig. 1), que actúan con una frecuencia del 12,8% y una velocidad media de 15,8 km/h en la Bahía de Cádiz (Sánchez, 1988). Los vientos de levante y de poniente constituyen más del 50% del total de vientos que se registran en esta costa (Fig. 2). Otros vientos también significativos en esta zona proceden del SW, WSW y W, aunque en general todos estos vientos de componente Oeste se asocian con brisas marinas o bien con situaciones ciclónicas meso-atlánticas.

El clima del Golfo de Cádiz y su régimen de vientos están muy condicionados por la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Durante años con valores bajos o negativos del índice de la NAO, la presión atmosférica disminuye en la zona subtropical y el Anticiclón de las Azores se debilita, de modo que los ciclones atlánticos alcanzan con mayor facilidad la Península Ibérica causando intensas lluvias e incluso inundaciones. Por el contrario, durante años en los que se registra una fase positiva de la NAO (la presión aumenta sobre las Azores y disminuye en Islandia), se intensifican las condiciones de alta presión en el sector suroccidental de la Península Ibérica y los vientos del Este se hacen más fuertes (Hurrell, 1995). Esta situación puede bloquear la dinámica atmosférica de la zona, con vientos de levante soplando continuamente y que pueden prolongarse durante prácticamente todo el año. Durante el siglo XX, y especialmente durante las últimas décadas, se viene registrando una tendencia positiva del índice de la NAO en el sur de la Península Ibérica (Hurrell, 1995) y en las dos últimas décadas, el centro septentrional de la NAO (baja barométrica de Islandia) se ha desplazado a situaciones más próximas a Escandinavia, lo que podría ser una de las causas del descenso de la lluvia estacional en los últimos decenios (Trigo et al., 2004). Goodess & Jones (2002) compararon el índice NAO invernal y la precipitación de invierno en la Península Ibérica para los últimos 40 años; los resultados mostraron una buena correlación, especialmente para el Golfo de Cádiz y la Depresión del Guadalquivir (Aberg, 2005).

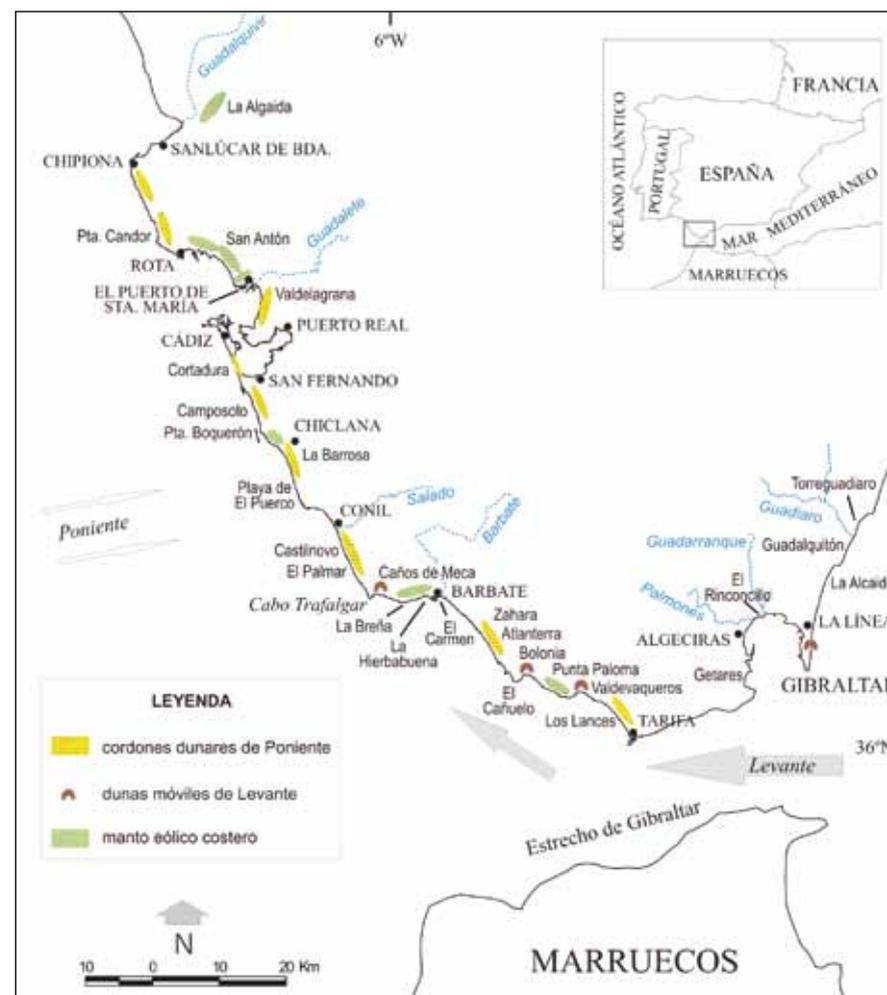


Figura 1. Mapa general de la provincia de Cádiz, con indicación de los principales topónimos utilizados en el texto.

En lo que respecta al potencial generador de sistemas dunares, los vientos de levante serían, teóricamente, los más importantes debido al bajo contenido en humedad de las masas de aire puestas en movimiento y a su alta velocidad. Sin embargo, en la mayor parte del litoral gaditano, especialmente en la fachada atlántica, orientada en general en dirección NW-SE, los vientos de levante soplan aproximadamente paralelos a la línea de costa, lo que impide que estos vientos generen cordones dunares continuos. Sólo en el litoral mediterráneo gaditano y en las bahías y ensenadas desarrolladas en el lado atlántico del Estrecho de

Gibraltar se alcanzan orientaciones costeras que permiten el desarrollo de dunas de levante, que habitualmente son grandes y móviles. En contraste, los vientos de poniente soplan según una dirección aproximadamente perpendicular a la línea de costa, aunque las masas de aire en movimiento poseen un elevado grado de humedad. En consecuencia, el transporte eólico está más limitado y estos vientos dan lugar a cordones dunares muy continuos, pero con un desarrollo vertical relativamente modesto, una cobertera vegetal mucho más importante y una movilidad muy baja o nula (Gracia *et al.*, 2006).

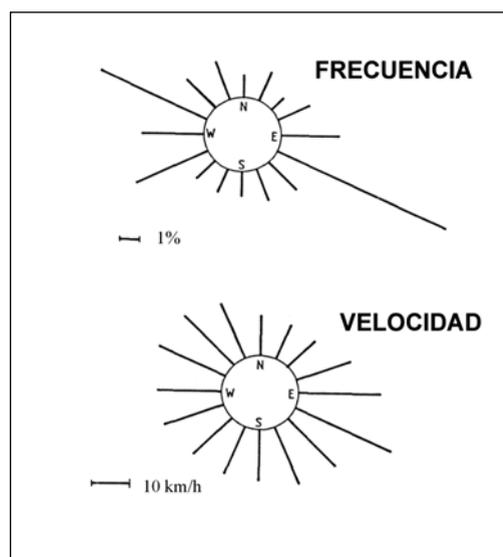


Figura 2. Rosa de vientos de la costa atlántica gaditana (Muñoz y Sánchez, 1994).

Por otro lado, el aporte sedimentario necesario para el desarrollo dunar proviene básicamente de las desembocaduras fluviales de la zona. El sector norte de la fachada atlántica alberga dos estuarios importantes, ligados a los ríos Guadalquivir y Guadalete, mientras que en el sector sur existe un cierto número de ríos de mucha menor entidad (ríos Salado de Conil, Barbate, etc.). La deriva litoral dominante, dirigida hacia el SE, distribuye estos aportes a lo largo de las playas de la provincia. No obstante, la regulación hídrica de algunos de los principales cauces fluviales (fundamentalmente Guadalquivir, Guadalete y Barbate en el lado atlántico, y en cierta medida el Guadiaro en el lado mediterráneo) ha reducido drásticamente los aportes de arena a la costa en los últimos 40 años, lo que ha conducido al déficit sedimentario de muchas playas, especialmente del

norte y SE de la provincia, con consecuencias negativas en los sistemas dunares conectados a ellas (Del Río *et al.*, 2008).

2. Evolución holocena e histórica

A lo largo de la costa gaditana existen algunos ejemplos aislados de eolianitas cuaternarias, fundamentalmente pleistocenas. De todos ellos destaca el del Cabo de Trafalgar (Fig. 3), compuesto por unos 15 m de arenas cuarzosas muy laminadas y cementadas por carbonatos, con abundantes rizoconcreciones. La inclinación de las láminas muestra un predominio de los vientos de levante en su génesis. La eolianita se encuentra asociada a una paleoplaya infrayacente, datada en 107 ± 2 ka por Zazo *et al.* (1999).

Durante épocas más recientes, del Holoceno y en tiempos históricos, se registraron varios periodos de eolización costera, muy probablemente relacionados con fluctuaciones climáticas y oscilaciones del nivel del mar. Borja *et al.* (1999) elaboraron una síntesis de las fases eólicas registradas a lo largo del Golfo de Cádiz y definieron tres sistemas principales: D1 (2700 cal BP a 2000 cal BP), D2 (siglos XIV a XVII) y D3 (siglo XVII). El máximo eustático Holoceno, que llegó hasta unos 2-3 m por encima del nivel del mar actual (Gracia *et al.*, 1999), se alcanzó en esta región aproximadamente entre 5300 y 6500 años BP (Zazo *et al.*, 1994; Gracia *et al.*, 2000). Desde ese momento, varios sistemas de flechas-barrera crecieron siguiendo la dirección de la deriva dominante (hacia el Sur, a ambos lados del Estrecho), cerrando o semicerrando estuarios y ensenadas, mientras que en costas abiertas estas fases acumulativas dieron lugar a sistemas de playa-duna.

Los estudios llevados a cabo por Zazo *et al.* (1994, 1996), Goy *et al.* (1996) y Dabrio *et al.* (2000) propusieron un conjunto de cuatro fases mayores de progradación, denominadas H1 a H4 por Zazo *et al.* (1994), y con las siguientes edades (cal Ka BP; Borja *et al.*, 1999): H1: 6,5-4,7; H2: 4,4-2,7; H3: 2,4-0,7 y H4: 0,5 a la actualidad. Parece evidente que el cordón litoral más antiguo, H1, comenzó durante el máximo eustático Holoceno, para dar paso posteriormente a varias fases de sedimentación en playas y predominio de la progradación. Los citados autores no identificaron ningún registro en superficie de la fase H1, ni otro depósito eólico o de playa asociado en todo el Golfo de Cádiz, lo que fue interpretado por Goy *et al.* (1996) y Dabrio *et al.* (2000) como una consecuencia del predominio de la agradación costera en relación a la progradación. Una gran parte de los aportes sedimentarios fluviales habría sido retenida en las cuencas estuarinas durante el máximo eustático. Estos autores tampoco encontraron ningún sedimento eólico entre 6500 y 2500 cal. BP en el Golfo de Cádiz.



Figura 3. Eolianitas pleistocenas en el Cabo de Trafalgar.

Varios estudios más recientes llevados a cabo en la Bahía de Cádiz (Gracia *et al.*, 2000, 2002; Gracia, 2008) muestran la existencia de depósitos de playas y dunas relacionados cronológicamente con épocas tempranas, muy poco después del máximo eustático Holoceno. Un kilómetro al NW del Hospital de Puerto Real, en el paraje conocido como “El Retamar”, se localiza un yacimiento arqueológico del Neolítico incluido en un nivel de paleosuelo desarrollado en la base de un depósito de arenas eólicas de 1,5 m de espesor. La datación radiométrica por ^{14}C de semillas encontradas en el yacimiento aportó una edad de 7,2 – 6,8 ka BP (Stipp & Timers, 2002). El depósito forma parte de una duna remontante que cubre la ladera meridional de una colina suave, cuya cima alcanza los 20 m por encima del nivel del mar. El aporte sedimentario al depósito dunar está representado por una paleoplaya arenosa que se extiende a lo largo de una llanura costera, a unos 4 m sobre el nivel del mar y en la actualidad parcialmente cubierta de vegetación. La morfología y la orientación del cuerpo arenoso eólico indica que los vientos responsables de su acumulación procedían del SSE, levante (Gracia *et al.*, 2002).

Por otro lado, unos 3 km al SE de Puerto Real, en el interior de un pequeño entrante costero dentro del saco interno de la Bahía de Cádiz, Gracia *et al.*

(2000) identificaron una terraza marina a unos 3 m por encima del nivel medio del mar, compuesta por 1,5 m de arenas gruesas bioclásticas fosilizadas por arenas finas eólicas meteorizadas. La datación por radiocarbono del nivel inferior de playa proporcionó una edad de 5,3 – 4,8 ka BP, equivalente a la unidad morfosedimentaria regional H1 definida por Zazo *et al.* (1994). Dos kilómetros más al Sur, limitando la margen izquierda de la desembocadura del Arroyo Zurraque, se reconoce también este mismo nivel de terraza marina, que orla todo el borde oriental de la Bahía interna de Cádiz. La paleoplaya aparece fosilizada por un amplio depósito dunar de arenas blancas, densamente colonizado por vegetación arbustiva y arbórea. Las dunas, de varios metros de espesor, ocupan una franja de casi 1 km de anchura paralela a la orilla y han perdido ya su morfología original. Se trata de un depósito dunar que se desarrolló con posterioridad a la generación de la citada paleoplaya, en un momento en el que no se habían formado todavía las extensas marismas que cubren la Bahía interna de Cádiz y donde los aportes arenosos eran importantes, procedentes tanto del río Guadalete como del Arroyo Zurraque.

Todos estos hallazgos no contradicen la hipótesis del predominio de la agradación dentro de las bahías y estuarios durante las primeras épocas post-máximo eustático. Sin embargo, para ese momento una cierta cantidad de aportes sedimentarios fluviales muy probablemente fueron transportados fuera de los estuarios, especialmente durante los episodios de avenida fluvial, y posteriormente fueron distribuidos a lo largo de la costa por las corrientes de deriva litoral, dando lugar a playas en áreas resguardadas. Borja *et al.* (1999) indicaron que la acumulación del primer sistema eólico en el Golfo de Cádiz, D1, comenzó hace unos 2,5 ka BP, poco después de que existiera un substrato firme sobre el sistema costero H2. Obviamente, la duna remontante de El Retamar y el complejo dunar del Arroyo Zurraque sugieren que muy probablemente esta fase de acumulación dunar comenzó mucho antes, aunque quizá en estos momentos iniciales no se trataba de un proceso generalizado, sino más bien restringido a lugares favorables, cercanos a las principales desembocaduras fluviales.

Durante épocas históricas, después del siglo VIII a.C. muchos asentamientos fenicios fueron abandonados y cubiertos por potentes depósitos eólicos. Alrededor del siglo V a.C. tuvo lugar en la región un ligero cambio climático hacia condiciones más templadas y húmedas, representadas por un aumento de los aportes sedimentarios fluviales a la costa (Borja, 1992). Estas condiciones climáticas favorecieron el desarrollo de suelos orgánicos sobre los depósitos eólicos previos, que fueron ya ocupados por asentamientos humanos, incluso en superficies abiertas, durante toda la Época Romana (entre 2000 y 700 cal. BP;

Borja *et al.*, 1999). No obstante, en la génesis de estos mantos eólicos protohistóricos no hay que descartar el factor antrópico como desencadenante, mediante deforestación para la implantación de cultivos cerealistas, en épocas ya muy tempranas (Borja *et al.*, 1997).

Posteriormente, hacia el final del periodo cálido medieval, la zona costera del SW de España fue afectada una vez más por el desarrollo de amplios mantos eólicos, generados por vientos de levante. Muchos asentamientos romanos y de la alta Edad Media localizados en las laderas occidentales de las bahías a lo largo del litoral gaditano (Valdevaqueros, Bolonia, Barbate, Bahía de Cádiz, etc.) fueron cubiertos por potentes depósitos eólicos (Alonso *et al.*, 2004). Esta secuencia de episodios eólicos asociados a vientos de levante separados por periodos húmedos con desarrollo edáfico y asentamientos humanos aparece en diversas secciones estratigráficas a lo largo de diferentes puntos de la costa de Cádiz. Un ejemplo de esta secuencia se aprecia en la figura 4, donde se observa una sección de 9 m en una excavación realizada en el casco histórico de la ciudad de Cádiz, en una zona completamente expuesta a los vientos de levante.

Esta fase de sedimentación eólica probablemente se prolongó hasta el siglo XVII (Borja *et al.*, 1999). Durante la Pequeña Edad del Hielo (siglos XVII a XIX) predominaron los vientos húmedos de poniente que, unidos a un incremento en las precipitaciones y un descenso generalizado de las temperaturas, favorecieron una nueva fase de desarrollo edáfico. Finalmente, durante el siglo XX se instalaron nuevas condiciones de vientos de levante, llevando a la reactivación de las dunas móviles a lo largo de toda la costa gaditana, en una situación que se mantiene en la actualidad.

Después de su estudio regional, Borja *et al.* (1999) concluyeron que los sistemas eólicos históricos comenzaron a acumularse durante periodos de alto nivel del mar bajo condiciones ciclónicas de larga duración (bajas presiones atmosféricas, clima templado-húmedo). Sin embargo, estos autores señalan que el paleosuelo orgánico desarrollado durante la “Discontinuidad regional Romano-Medieval” (2000 cal. BP a 700 cal. BP), simultáneo con la formación de la unidad de flecha-barrera H3, imposibilita una correlación directa entre fases húmedas y fases de interrupción de la sedimentación costera. Los numerosos ejemplos de asociación histórica entre periodos con predominio de vientos de levante en condiciones cálidas y secas con la reactivación de dunas móviles, indican que esa supuesta relación simple no está todavía resuelta.

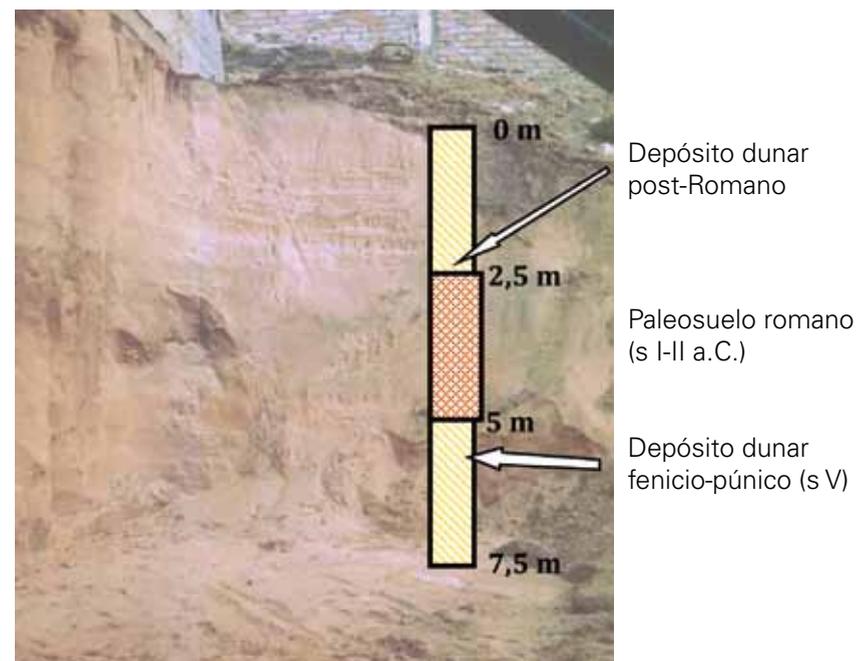


Figura 4. Sección estratigráfica de la calle Escalzo (ciudad de Cádiz), donde se identifican varios niveles deposicionales históricos de origen eólico, separados por paleosuelos.

3. Situación actual de los complejos dunares

Las características morfológicas y dinámicas de la costa gaditana determinan que los sistemas dunares muestren aspectos muy diferentes a lo largo de su litoral. Estos contrastes se acentúan si comparamos su evolución a lo largo de los últimos 50 años, a partir del análisis de fotografías aéreas. Por ello, dividiremos el presente apartado en tres epígrafes: dunas de la costa atlántica septentrional, de la costa atlántica meridional, y de la costa mediterránea gaditana.

3.1. Costa atlántica Norte

El sector septentrional de la costa gaditana se extiende desde la desembocadura del río Guadalquivir hasta el Cabo Trafalgar (Fig. 1). Se trata de una costa baja arenosa, mesomareal, expuesta a los vientos de poniente asociados a menudo a temporales atlánticos. La mayoría de las playas en este sector son amplias y de tipo disipativo. A esta zona llegan los aportes sedimentarios de ríos importantes, como el Guadalquivir y el Guadalete, así como el de otros cursos menores como el Salado de Rota, el Salado de Conil o el Barbate, que suministran sedimentos de grano fino. En torno a las principales desembocaduras se

forman importantes playas y notables sistemas dunares asociados; en el caso del Guadalquivir destacan en la orilla derecha del río las dunas de Doñana (que se tratarán en el capítulo 17), mientras que en su orilla izquierda sobre su correspondiente contraflecha se desarrolla un amplio conjunto de dunas fijadas por un bosque de pinos cerca del municipio de Bonanza (NE de Sanlúcar de Barrameda); se trata del Pinar de La Algaida, que forma parte del Parque Natural del Entorno de Doñana. Históricamente la margen izquierda del río Guadalquivir presentaba un desarrollo dunar importante, con extensos arenales, que han sido transformados en campos de cultivo de hortalizas (navazos).

Tras el brusco cambio de orientación de la costa que representa la punta del Perro en Chipiona (Fig. 1), las playas de Regla, Camarón y Tres piedras, disponían hasta hace algunas décadas de un notable sistema dunar, favorecido por la construcción histórica de corrales de pesca sobre la plataforma rocosa costera, que ayudaba a la retención de sedimentos en la playa durante las pleamares. Hoy día la costa está muy transformada por la actividad agrícola y urbanística, y sólo quedan dunas en el tramo central. Cerca de Rota, la suave topografía y el aporte de arena han llevado al desarrollo de mantos de arena y campos dunares de dimensiones considerables (hasta más de 10 m de altura), con dunas tanto móviles como estabilizadas por bosques de pinos, lentiscos y enebros, como en Punta Candor, zona costera también protegida por corrales de pesca (Fig. 5). Las dunas móviles en este sector llegan a presentar tasas de avance cercanas a 1 m/año.



Figura 5. Cordones dunares costeros entre Chipiona y Rota, fijados por vegetación (pinos de repoblación al norte de Rota en la imagen de la derecha). En ambos casos se observan corrales para pesca que protegen las respectivas playas.

Más al Sur se localiza el manto eólico de El Puerto de Santa María, el mayor de la provincia, que se extiende desde el municipio de Rota hasta la Bahía de Cádiz, y que fosiliza las espectaculares eolianitas pleistocenas de El Aculadero,

datadas en unos 63.000 años BP por Santonja & Pérez González (2010). En su mayor parte se trata de dunas históricas inactivas, fijadas por un pinar de repoblación, que forman acumulaciones que superan los 20 m de altura y que han perdido ya su forma original, por lo que resulta difícil atribuir su génesis a un régimen de vientos definido. Constituye el manto eólico litoral de Cantarranas-Valdelagrana, descrito por Borja *et al.* (1997). En la actualidad presenta tan sólo una cierta dinámica en la base naval de la OTAN en Rota, donde se pueden observar cubetas de deflación (Fig. 6) y algunos pequeños frentes parabólicos activos asociados a vientos de levante. En la Bahía de Cádiz también se reconocen dunas móviles en el extremo libre de la flecha de la Punta del Boquerón (Fig. 1), en una zona muy dinámica, exenta de vegetación debido a su alta exposición a los fuertes vientos de levante. Por otro lado, puntualmente aparecen dunas remontantes asociadas a acantilados bajos y medios, como en playa de Las Redes y en la Caleta del Agua, en El Puerto de Santa María, o en la playa de El Puerco, entre Chiclana y Conil de la Frontera (Fig. 7).



Figura 6. Corredor de deflación excavado en un manto eólico vegetado en la Base Naval de la OTAN en Rota.

Los sistemas dunares de este sector septentrional están amenazados en muchos lugares por una intensa presión antrópica. En este sentido, algunos antiguos

campos dunares y mantos eólicos que cubrían amplias áreas han sido destruidos por el desarrollo urbanístico durante los últimos 50 años. En el pasado la extracción de arenas llegó a ser frecuente, como la que se realizaba en las dunas de San Antón para abastecer una fábrica de vidrio. Sin embargo, el mayor impacto ha consistido en la construcción de edificaciones y paseos marítimos directamente sobre las dunas, especialmente durante la expansión urbanística ligada a la industria del turismo en las décadas de 1960 y 1970, que ha continuado hasta la actualidad aunque con menor intensidad. En esos años se construyeron la mayoría de los paseos marítimos y urbanizaciones costeras de este sector, como los complejos de Valdelagrana (El Puerto de Santa María) o La Barrosa (Chiclana de la Frontera) (Fig. 1). En el primero de ellos se destruyeron 160.000 m² de dunas entre 1956 y 1990, la mayor parte en los años 1970 y comienzos de la década de 1980. En la playa de La Barrosa durante los últimos 50 años se han destruido unos 190.000 m² de dunas y el 70% de los extensos mantos eólicos que se extendían tras ellas. A pesar de la renovada tendencia a la urbanización costera desde finales de la década de 1990, la entrada en vigor de la actual Ley de Costas en 1988 ha ayudado a frenar el avance de la construcción y ha permitido preservar cordones dunares en parajes como la playa de El Puerco, donde las nuevas instalaciones hoteleras se han ubicado detrás de los complejos dunares.



Fig. 7. Dunas remontantes en la playa de El Puerco (Conil de la Frontera)

Aparte del desmantelamiento de dunas para fines urbanísticos, los sistemas dunares de este sector están amenazados por procesos naturales intensificados por la acción humana. La erosión por el oleaje y la clara disminución de los aportes sedimentarios de los ríos han llevado a una práctica desaparición de las dunas embrionarias en la mayoría de los cordones dunares costeros, como en El Palmar (Vejer de la Frontera). En estas zonas la tendencia a la erosión costera viene marcada por escarpes abruptos en el lado hacia mar de las dunas y por la exposición de raíces de plantas. De hecho, en algunos lugares de la costa, como en Punta Candor, el retroceso costero reciente ha tenido como consecuencia la completa destrucción de cordones dunares en las últimas décadas (Domínguez *et al.*, 2004, 2005; Del Río *et al.*, 2005). La erosión costera está desencadenada fundamentalmente por una drástica reducción de los aportes sedimentarios a la costa debido a los numerosos embalses en las cuencas del Guadalquivir y Guadalete, funcionales desde la década de 1950, y en menor medida por la retención de arena por las estructuras portuarias (Gracia *et al.*, 2005).

A pesar de la pérdida de muchos campos dunares y de los daños en la mayoría de los que permanecen, existen todavía algunos sistemas dunares bien preservados en el sector septentrional de la provincia de Cádiz. La mayoría de ellos se conservan debido a la ausencia de desarrollo urbanístico o de erosión costera significativa, como las dunas de las playas de Cortadura-Torregorda (Cádiz) y Castilnovo (Conil de la Frontera) (Fig. 1), mientras que en otras zonas el estado de las dunas se ha mejorado mediante intervenciones del Ministerio de Medio Ambiente a través de la Demarcación de Costas en Andalucía-Atlántico, como en Camposoto, o al norte de la playa de El Palmar. En este último caso la revegetación de dunas, junto con la instalación de captadores de arena y cerramientos de protección, han estabilizado en gran medida las zonas dunares, favoreciendo un avance del pie de duna de hasta 20 m en algunos puntos durante las dos últimas décadas (Gómez Pina *et al.*, 2002).

3.2. Costa atlántica Sur

El sector meridional del litoral atlántico gaditano se extiende desde Cabo Trafalgar hasta la ciudad de Tarifa (Punta de Tarifa o Punta Marroquí). Aquí la proximidad del Estrecho de Gibraltar y el acusado estrechamiento de la plataforma continental dan lugar a una importante reducción del rango mareal. Esta costa está compuesta fundamentalmente por pequeñas ensenadas alimentadas por pequeños ríos con escaso aporte sedimentario (arroyos de la Jara, del Valle, etc.), así como playas en bolsillo entre promontorios, relativamente protegidas de los temporales de poniente y algunas más abiertas asociadas a las desembo-

caduras de los ríos de mayor entidad. Las playas son en general más estrechas y abruptas que en la costa Norte, y muestran perfiles reflectivos a intermedios, con mayor tamaño de grano lo que, a iguales condiciones de viento, limita el desarrollo dunar (Carter, 1988).

Como consecuencia de estas condiciones, escasean los cordones dunares paralelos a la costa, de los que destaca fundamentalmente el conjunto de cordones de Los Lances, en Tarifa, asociados a vientos de poniente y alimentados por una amplia playa que, cuando sopla el viento de levante, a su vez alimenta a la vecina playa de Valdevaqueros-Punta Paloma. La morfología costera y la gran intensidad de los vientos de levante, paralelos a la línea de orilla en este sector, dan lugar al desarrollo de grandes dunas remontantes móviles, no vegetadas, a sotavento de los promontorios. La mayoría de estas dunas ha crecido rápidamente en las últimas décadas debido a intervenciones humanas (Benavente *et al.*, 2005; Del Río *et al.*, 2008). Destaca el amplísimo conjunto dunar de la Breña de Barbate. Se trata de un sistema de dunas remontantes de levante, con abundantes formas barjanoides, que cubren las laderas y la cumbre de la Breña, un relieve estructural sobre calcarenitas miocenas al Oeste de la Ensenada de Barbate. La arena que cubre este relieve procede tanto del arrastre eólico desde las vecinas playas de La Hierbabuena y El Carmen (Barbate), como de la meteorización de las propias areniscas del substrato sobre el que se ubica. A mediados del s. XX todas estas dunas fueron fijadas por un pinar de repoblación, protegido en la actualidad como parque natural.

El Cabo de Trafalgar (Barbate) constituye uno de los lugares costeros con mayor abundancia y variedad de morfologías dunares de toda la costa gaditana (Fig. 8). Se trata de un Monumento Natural constituido por un doble tómbolo que une un afloramiento rocoso formado por las paleoplayas y eolianitas pleistocenas anteriormente mencionadas, con el continente. El espacio entre las dos barreras arenosas está ocupado por un área palustre hoy ya prácticamente colmatada de sedimentos. La barrera occidental, expuesta a los vientos de poniente, desarrolla un único cordón dunar de escasas dimensiones. Sin embargo, la barrera oriental, orientada N-S, intercepta de manera casi perpendicular los fuertes vientos de levante, dando lugar a un complejo dunar extenso y variado. Se reconocen dunas embrionarias, así como numerosas *nebkhas* y formas domáticas de grandes dimensiones (casi 2 m de altura) y abundantes *knobs* a sotavento de las anteriores, entre las que se desarrollan depresiones interdunares a menudo encharcadas. Más hacia el interior se extiende un amplio manto eólico que cubre parcialmente el área palustre inter-barreras (Fig. 8). El límite septentrional de este conjunto dunar está representado por una duna móvil no vegetada, de casi

20 m de altura y morfología a grandes rasgos parabólica, que se alimenta de la vecina playa de Caños de Meca (Barbate); su dinamismo, que afecta a la carretera de acceso al faro del cabo, obliga a intervenciones periódicas de captación y remoción de arena, que es posteriormente depositada en la playa que le sirve de origen.

Uno de los casos más espectaculares de duna remontante móvil se encuentra en la Ensenada de Bolonia (Tarifa), donde históricamente un corredor de deflación de unos 1500 m de longitud asociado a los vientos de levante conectaba esta playa con la de El Cañuelo (Fig. 1). Tras una plantación masiva de pinos sobre dicho corredor de deflación a mediados de los años 1950 para impedir la acumulación de arenas eólicas en una carretera (Menanteau *et al.*, 1983), el crecimiento vertical del sistema dunar de Bolonia debido a los vientos de levante superó rápidamente los 30 m. En la actualidad, el complejo dunar de Bolonia, en su mayor parte no vegetado, está formado por un gran cuerpo parabólico sobre el que desarrollan cubetas de deflación que dibujan formas barjanoides. El complejo cubre unos 92.000 m² (Fig. 9), y los frentes de avance de las dunas más adelantadas cubren los pinos con una velocidad de avance de 2 m/año. No obstante, dado que en la actualidad la carretera en cuestión ya no se encuentra amenazada por la sedimentación de arenas eólicas, apenas se aplican medidas de estabilización en este complejo dunar, que constituye una zona protegida bajo la figura de Monumento Natural y además se ubica en el Parque Natural del Estrecho.

Un proceso similar de crecimiento dunar inducido por la acción humana se localiza en la duna de Valdevaqueros-Punta Paloma (Tarifa). La plantación de pinos y eucaliptos sobre un anterior manto eólico entre las décadas de 1930 y 1960, llevó a la estabilización y revegetación del complejo dunar de Betis – Punta Paloma. Dicho complejo dunar se localizaba históricamente sobre un amplio corredor arenoso formado por dunas transversales y remontantes intercaladas por pasillos de deflación, que con unos 5500 m de longitud conectaba las ensenadas de Valdevaqueros y de Bolonia (Fig. 1). La reforestación de la zona se llevó a cabo con el objeto de proteger de las arenas eólicas el acceso al campamento militar de Punta Paloma. En tiempos más recientes hubo varios intentos de fijación dunar, incluyendo la remoción periódica de arena y la instalación de captadores de arena, que progresivamente han favorecido el crecimiento vertical del edificio dunar costero no vegetado, el cual cubre en la actualidad unos 152.000 m². A pesar de las medidas de control aplicadas en años recientes (Román Sierra *et al.*, 2004; Muñoz *et al.*, 2009), el frente dunar presenta más de 30 m de altura (Fig. 10) y ha avanzado unos 115 m durante los últimos 50 años, llegando a amenazar de nuevo a la carretera de acceso al campamento militar. No obstante, en las últimas décadas se observa una progresiva disminución del volumen de arena en este conjunto

dunar (Nuño, 2008), debida a una creciente falta de alimentación sedimentaria desde la vecina playa de Los Lances, donde la cada vez más extensa laguna que cubre la parte alta de la playa impide el transporte eólico de arena.

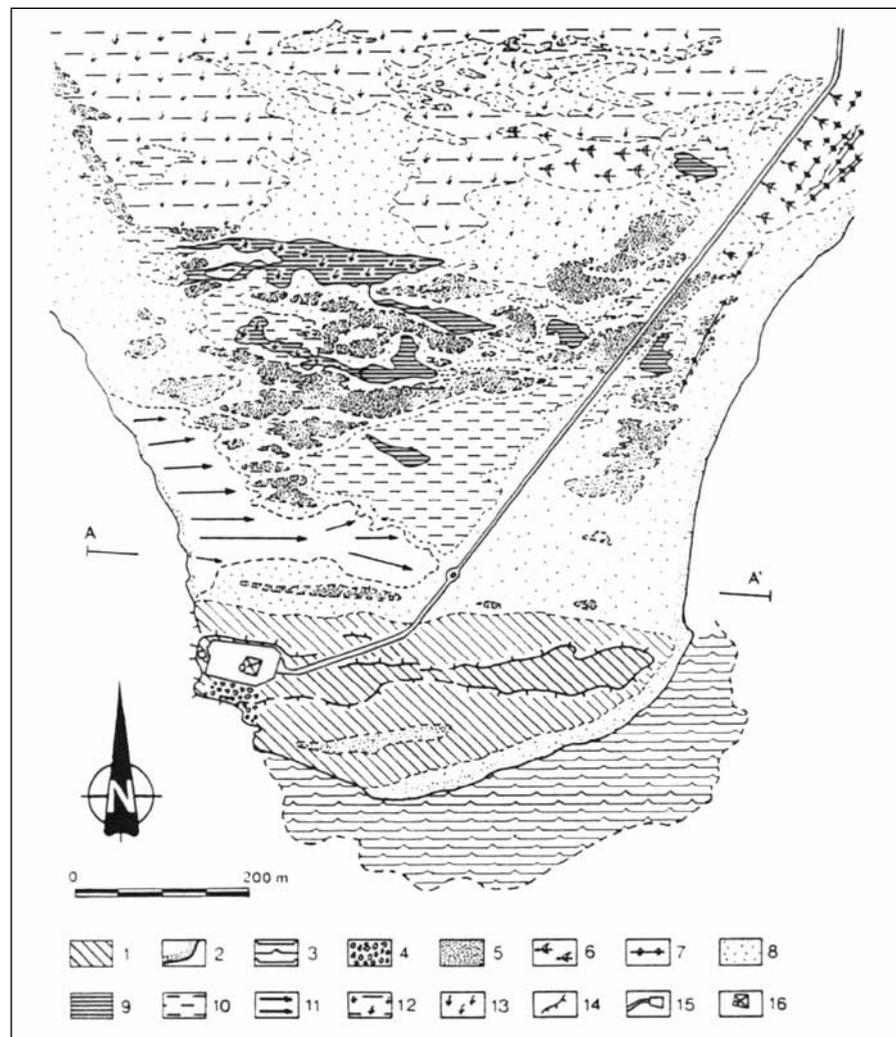


Figura 8. Mapa geomorfológico de las acumulaciones dunares del Cabo Trafalgar (Gracia & Benavente, 2000). Simbología: 1. eolianitas pleistocenas; 2. playa; 3. plataforma de abrasión marina; 4. escollera de protección; 5. dunas fijadas con vegetación; 6. dunas móviles; 7. hileras de captadores de arena eólica; 8. cordones arenosos y manto eólico; 9. lagunas permanentes; 10. encharcamientos episódicos; 11. abanico de desbordamiento (*washover fan*); 12. laguna colmatada colonizada por vegetación; 13. cobertera vegetal; 14. escarpe; 15. carreteras y construcciones; 16. faro.



Figura 9. Gran duna remontante en la Ensenada de Bolonia (Tarifa).



Figura 10. Medidas de control (izquierda) y frente móvil (derecha) en la duna de Valdevaqueros (Tarifa).

Por otra parte, en algunos puntos a lo largo de la costa las condiciones locales de contorno han favorecido la formación de cordones dunares paralelos a la línea de orilla, generalmente estrechos. Es el caso del complejo dunar de la Ensenada de Los Lances (Fig. 1), que contiene dunas embrionarias y dunas primarias que se extienden a lo largo de casi 2 km de litoral. En la playa de Hierbabuena (Barbate, fig. 1), el bloqueo de la corriente de deriva litoral por el dique del puerto de Barbate, junto con la revegetación dunar llevada a cabo por la Dirección General de Costas, ha incrementado notablemente la superficie dunar. En 1956 la playa de Hierbabuena cubría un área de unos 47.000 m² y prácticamente carecía de dunas; cinco décadas después, el área total cubierta por el sistema playa/duna es de más de 192.000 m², la mayoría de ella (unos 110.000 m²) ocupada por un campo de dunas bien desarrollado (Del Río, 2007).

El buen grado de preservación de las áreas dunares en este sector meridional del litoral atlántico gaditano se debe fundamentalmente a una menor ocupación humana de la costa, ya que buena parte del territorio costero se destina a usos militares o bien corresponde a diversas áreas naturales protegidas (P.N. de la Breña y Marimas de Barbate y P.N. del Estrecho), donde la urbanización costera no está permitida o bien está muy restringida. De hecho, las principales zonas dunares destruidas fueron desmanteladas antes de la entrada en vigor de la Ley de Costas en algunos puntos donde la urbanización de la costa no estaba tan limitada, como en la playa de Caños de Meca, donde alrededor de 50.000 m² de dunas fueron eliminadas para fines urbanísticos en los años 1960 y 1970. Otros casos puntuales más recientes de desarrollo urbanístico, como la playa de Atlanterra (Tarifa), se ubican detrás de las áreas dunares, tal y como prescribe la Ley de Costas.

Otro factor importante que contribuye a la preservación dunar en esta zona es la práctica ausencia de procesos de erosión costera, ya que la mayoría de las playas están asociadas a ríos no regulados, y la línea de costa se orienta en gran parte relativamente a resguardo de los oleajes erosivos de poniente (Del Río *et al.*, 2005). No obstante, se han identificado algunas excepciones a esta regla, como la playa de Caños de Meca, donde la línea de costa ha retrocedido entre 25 y 75 m en los últimos 50 años, llevando a la desaparición de las dunas embrionarias (Del Río, 2007).

3.3. Costa mediterránea

La costa mediterránea gaditana está representada por la Bahía de Algeciras y por un tramo de apenas una decena de kilómetros entre Gibraltar y el límite con la provincia de Málaga. Se trata de una costa micromareal que recibe los aportes de ríos de cierta entidad como el Palmones y el Guadarranque en la Bahía de

Algeciras, y especialmente el río Guadiaro al NE de Gibraltar. En torno a sus desembocaduras se desarrollan cuerpos sedimentarios litorales de carácter arenoso que contienen complejos dunares más o menos desarrollados. Así, la flecha litoral de El Rinconcillo, que limita la desembocadura del río Palmones, cerca de la ciudad de Algeciras, presenta varios cordones dunares con una secuencia de tipologías dunares bien preservada (Fig. 11). La zona está protegida bajo la figura de Paraje Natural, si bien se ve sometida a una fuerte presión antrópica por la alta densidad de asentamientos humanos en zonas circundantes. En los últimos años la ampliación de diques y dársenas del puerto de Algeciras ha provocado un cambio en la forma en planta de la playa, consistente en una acumulación de arena en su lado Sur y un retroceso en su zona central, en la que se ve afectado al sistema dunar asociado.



Figura 11. Playa del Rinconcillo (Algeciras).

La Ensenada de Getares tuvo en el pasado un complejo de dunas móviles bien desarrollado, que en las dos últimas décadas ha sido parcialmente destruido por el desarrollo urbanístico y la construcción de un paseo marítimo (García de Lomas *et al.*, 2001). En cuanto al tramo situado entre Gibraltar y el límite de la provincia de Málaga, destacan algunos conjuntos dunares en las playas de La Atunara-Torrenueva, La Sobrevela y La Hacienda (La Línea), Torreguadiaro y especialmente en la de Guadalquítón (San Roque). En casi todos los casos se trata de acumulaciones dunares generadas por los fuertes vientos de levante y muy

transformadas por la presión antrópica, sobre todo en Guadalquítón, donde la extracción indiscriminada de arena ha llevado a la destrucción de un extenso campo de dunas móviles parabólicas (Fig. 12; García de Lomas *et al.*, 2001).

Por último habría que citar el gran desarrollo de depósitos dunares del Peñón de Gibraltar, representados por acumulaciones de más de 10 m de espesor que forman mantos eólicos remontantes que cubren las laderas orientales del Peñón alcanzando cotas de varios cientos de metros. Su actividad actual es nula, ya que se trata de dunas relictas formadas, en su mayoría, durante el Pleistoceno Superior y que presentan un gran interés paleoambiental (Rodríguez Vidal *et al.*, 2010). La base del depósito ha sido explotada para la extracción de arenas, mientras que las zonas medias y altas fueron cubiertas casi en su totalidad a principios del siglo XX por placas artificiales para impedir la infiltración de agua de lluvia y facilitar su recolección y almacenamiento.

4. Consideraciones finales

La ubicación, desarrollo y evolución de los sistemas dunares costeros del litoral gaditano están muy condicionados por los factores meteorológicos y climáticos imperantes en la zona. Los cambios climáticos, incluso los más leves, que han tenido lugar a lo largo de tiempos históricos, han afectado a la localización de los sistemas de altas y bajas presiones atmosféricas del Atlántico Norte, y por tanto han controlado y controlan la dirección e intensidad de los vientos dominantes en el Golfo de Cádiz. Paralelamente, las fluctuaciones climáticas históricas también han tenido consecuencias sobre la cobertera vegetal, la producción de sedimentos en las cuencas fluviales y sobre la estabilidad de las playas y flechas litorales. La persistencia de determinadas condiciones atmosféricas durante suficiente tiempo probablemente condicionó la localización y la movilidad estacional de los sistemas ciclónicos y anticiclónicos atlánticos, y por tanto el valor de la NAO. Es razonable suponer que las fluctuaciones históricas de la NAO controlaron la persistencia de vientos de levante o de poniente en el Golfo de Cádiz durante diferentes periodos históricos. Como consecuencia de la tendencia positiva del índice de la NAO en los últimas décadas, los vientos de levante han favorecido el crecimiento y movilidad de las dunas costeras en las proximidades del Estrecho de Gibraltar, localmente acentuadas por las intervenciones humanas.

El estado actual de los sistemas dunares de la costa gaditana (Fig. 13) depende en gran medida de las tendencias al avance/retroceso de las playas de las que se alimentan. A su vez, la mayor parte de los sedimentos de las playas proceden de los aportes fluviales principales: Guadalquivir, Guadalete y, en menor



Figura 12. Transformaciones del campo dunar de Guadalquítón en los últimos 50 años (San Roque).

medida, Salado y Barbate. Los dos primeros están muy regulados por embalses, y la consiguiente disminución de los aportes sedimentarios fluviales durante las últimas décadas ha llevado a un continuo retroceso de las playas cercanas a sus desembocaduras, especialmente las ubicadas aguas abajo en sentido de la deriva litoral (Sanlúcar – Chipiona – Rota – Valdelagrana – Sancti Petri y La Barrosa; Fig. 1). La regulación más tardía de la cuenca del río Barbate está produciendo consecuencias similares al sur del municipio costero de Barbate.

Por otro lado, el sector septentrional de la provincia presenta una relativamente alta densidad de asentamientos humanos costeros, en los que la creciente urbanización ha llevado a la destrucción y ocupación de anteriores cordones dunares. En consecuencia, las dunas costeras entre Sanlúcar de Barrameda y Chiclana de la Frontera se encuentran muy degradadas y en muchas ocasiones completamente desmanteladas. No obstante, la inclusión expresa de los sistemas dunares en la actual Ley de Costas como bienes del Dominio Público Marítimo-Terrestre ha sido crucial para que los tramos no desmantelados estén protegidos y preservados para el futuro, como muestra de la morfología que presentó el litoral hasta el primer tercio del siglo XX.

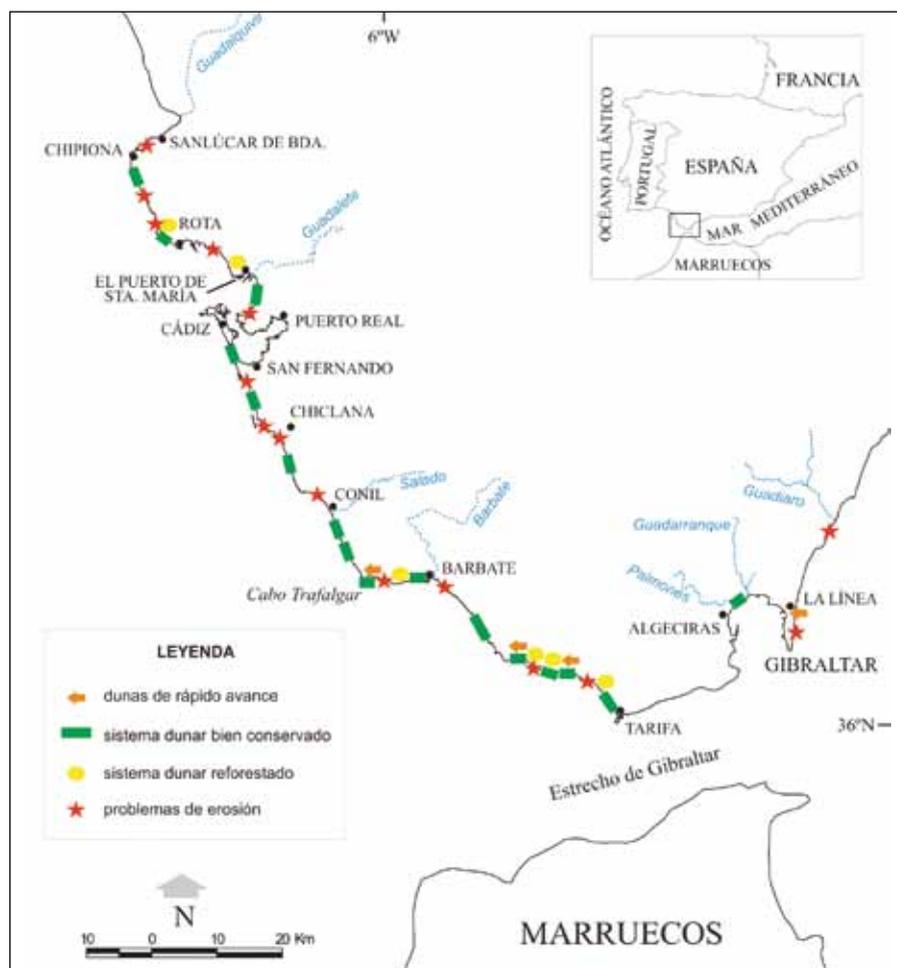


Figura 13. Estado actual de los sistemas dunares de la costa de la provincia de Cádiz (modificado de Gracia *et al.*, 2005).

Agradecimientos

Este trabajo es una aportación al grupo de investigación RNM 328 del Plan Andaluz de Investigación (Junta de Andalucía).

Referencias

ABERG, U. (2005). *Recent berm ridge development inside a mesotidal estuary: The Guadalquivir River mouth case*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Uppsala, Suecia. 62 pp. (inédito).

ALONSO, C.; GRACIA, F.J. & BENAVENTE, J. (2004). Las marismas, alfares y salinas como indicadores para la restitución paleotopográfica de la Bahía de Cádiz durante la antigüedad. En: *XVI Encuentros de Historia y Arqueología*. Exmo. Ayto. de San Fernando, pp. 263 – 287.

ALONSO, C.; GRACIA, F.J. & BENAVENTE, J. (2009). Evolución histórica del sector meridional de la Bahía Interna de Cádiz. *RAMPAS*, 11, 13 - 37.

BENAVENTE, J.; GRACIA, F.J.; DEL RÍO, L. & ANFUSO, G. (2005).- Morfologías dunares en la costa atlántica gaditana: evolución histórica y estado actual. En: *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral* (Hernández, L., Alonso, I., Mangas, J. & Yanes, A. eds.). Actas de las III Jornadas de Geomorfología Litoral, Serv. Publ. Univ. Las Palmas de Gran Canaria, p. 97 – 100.

BORJA, F. (1992). *Cuaternario reciente, Holoceno y periodos históricos del SW de Andalucía. Paleogeografía de medios litorales y fluvio-litorales en los últimos 30.000 años*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 520 pp. (inédita).

BORJA, F.; GUTIÉRREZ, J.M. & DÍAZ DEL OLMO, F. (1997). Fases de dunas durante el Holoceno Reciente en el litoral de El Puerto de Santa María (Cádiz). *Geogaceta*, 21, 39 - 42.

BORJA, F.; ZAZO, C., DABRIO, C.J.; DÍAZ DEL OLMO, F.; GOY, J.L. & LARIO, J. (1999). Holocene aeolian phases and human settlements along the Atlantic coast of Southern Spain. *The Holocene*, 9 (3), 333 – 339.

CARTER, R.W.G. (1988). *Coastal environments*. Academia Press, Nueva York, 617 pp.

DABRIO, C.J.; ZAZO, C.; GOY, J.L.; SIERRA, F.J.; BORJA, F.; LARIO, J.; GONZÁLEZ, J.A. & FLORES, J.A. (2000). Depositional history of estuarine infill during the last postglacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain). *Marine Geology*, 162, 381 – 404.

DEL RÍO, L. (2007). *La erosión costera en el litoral atlántico gaditano*. Tesis Doctoral, Universidad de Cadiz, 496 pp. (inédita).

DEL RÍO, L.; BENAVENTE, J.; GRACIA, F.J.; ALONSO, C.; RODRÍGUEZ VIDAL, J. & ANFUSO, G. (2008). Los espacios protegidos del litoral gaditano. En: *Geomorfología de los espacios naturales protegidos de la provincia de Cádiz* (Gracia, F.J., ed.). S.E.G. y Univ. de Cádiz, p. 103 – 195.

DEL RÍO, L.; GRACIA, F.J.; BENAVENTE, J. & ANFUSO, G. (2005). Alongshore variations in coastal erosion in the Atlantic side of Gibraltar Strait (SW Spain): causes and consequences. En: *6th Intern. Conference on Geomorphology*, Zaragoza. Abstract Vol., p. 247.

DEL RÍO, L.; BENAVENTE, J.; GRACIA, F.J.; ALONSO, C.; RODRÍGUEZ VIDAL, J. & ANFUSO, G. (2008). Los espacios protegidos del litoral gaditano. En: *Geomorfología de los espacios naturales protegidos de la provincia de Cádiz* (Gracia, F.J., ed.). S.E.G. y Univ. de Cádiz, p. 103 – 195.

DOMÍNGUEZ, L.; ANFUSO, G. & GRACIA, F.J. (2005).- Vulnerability assessment of a retreating coast in SW Spain. *Environmental Geology*, 47, p. 1037 – 1044.

DOMÍNGUEZ, L.; GRACIA, F.J. & 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 de la Sociedad Geológica de España*, 17 (1-2), 71 – 86.

GARCÍA DE LOMAS, J.; GARCÍA, C.M.; HERNÁNDEZ, I.; BENAVENTE, J.; GRACIA, F.J. & LÓPEZ AGUAYO, F. (2001). *Dunas y arenas del litoral de la provincia de Cádiz: Recomendaciones para su conservación y restauración*. Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. Informe inédito, 184 pp.

GÓMEZ PINA, G.; MUÑOZ PÉREZ, J.J.; RAMÍREZ, J.L. & LEY, C. (2002). Sand dune management problems and techniques, Spain. *Journal of Coastal Research*, SI 36, 325 – 332.

GOODES, C.M. & JONES, P.D. (2002). Links between circulation and changes in the characteristics of iberian rainfall. *International Journal of Climatology*, 22, 1593 – 1615.

GOY, J.L.; ZAZO, C.; DABRIO, C.J.; LARIO, J.; BORJA, F.; SIERRO, F.J. & FLORES, J.A. (1996). Global and regional factors controlling changes of coastlines in southern Iberia (Spain) during the Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 15, 773 – 780.

GRACIA, F.J. (2008). Geomorfología y estratigrafía del Pleistoceno y Holoceno en la banda atlántica de Cádiz. En: *La ocupación prehistórica de la campiña litoral y banda atlántica de Cádiz* (Ramos, J., ed.). Arqueología Monografías, Junta de Andalucía, Sevilla, p. 53 – 68.

GRACIA, F.J.; ALONSO, C.; ANFUSO, G.; BENAVENTE, J.; DEL RÍO, L.; DOMÍNGUEZ, L. & MARTÍNEZ, J.A. (2005).- Chapter IV: Historical evolution and erosion problems in the Cádiz Coast. En: *Geomorphology of the South-Atlantic Spanish Coast* (Gracia, F.J., coord.). Sixth Intern. Conf. on Geomorphology, Field trip guide A-4. Zaragoza, p. 40 – 58.

GRACIA, F.J.; ALONSO, C.; BENAVENTE, J. & LÓPEZ AGUAYO, F. (2000). Evolución histórica de la línea de costa en la Bahía de Cádiz. En: *Geomorfología litoral. Procesos activos* (De-Andrés, J.R. & Gracia, F.J., eds.). Instituto Geológico y Minero, Universidad de Cádiz, pp. 225 – 234.

GRACIA, F.J.; ALONSO, C.; GALLARDO, M.; GILES, F.; RODRÍGUEZ, J.; BENAVENTE, J. & LÓPEZ AGUAYO, F. (1999). Aplicación de la Geoarqueología al estudio de cambios costeros postflandrienses en la Bahía de Cádiz. En: *Geoarqueología i Quaternari litoral. Memorial María Pilar Fumanal*. (Rosselló, V., ed.). Serv. Publ. Univ. Valencia, p. 357 - 366.

GRACIA, F.J. & BENAVENTE, J. (2000). Geomorfología de la costa atlántica gaditana. En: *Geomorfología Litoral. Procesos activos* (De Andrés, J.R. & Gracia, F.J., eds.). Monogr. S.E.G. nº 7, ITGE y Serv. Publ. Univ. Cádiz, p. 235 - 255.

GRACIA, F.J.; BENAVENTE, J. & MARTÍNEZ DEL POZO, J.A. (2002). Geomorfología y emplazamiento. Enmarque holoceno de “El Retamar”. En: *El asentamiento de “El Retamar” (Puerto Real, Cádiz)* (Ramos, J. & Lazarich, M., eds.), Universidad de Cádiz, pp. 27 – 36.

GRACIA, F.J.; DEL RÍO, L.; ALONSO, C.; BENAVENTE, J. & ANFUSO, G. (2006).- Historical evolution and present state of the coastal dune systems in the Atlantic coast of Cádiz (SW Spain): Palaeoclimatic and environmental implications. *Journal of Coastal Research*, S.I. 48, p. 55 - 63.

HURRELL, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676 – 679.

MENANTEAU, L., VANNEY, J.R. & ZAZO, C. (1983). *Belo II: Belo et son environnement (Detroit de Gibraltar). Etude physique d'un site antique*. Publ. Casa de Velásquez, Serie Archeologie, 4. Ed. Broccard, Paris, 221 pp.

MUÑOZ, J.J.; NAVARRO, M.; ROMÁN, J.; TEJEDOR, B.; RODRÍGUEZ, I. & GÓMEZ, G. (2009).- Long-term evolution of a transgressive migrating dune using reconstruction of the EOF method. *Geomorphology*, 112, 167-177.

MUÑOZ, J.L. & SÁNCHEZ, A. (1994). *El medio físico y biológico en la Bahía de Cádiz: Saco Interior*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. Sevilla, 161 pp.

NUÑO, T. (2008). *Estudio de la evolución morfológica de la duna de Valdevaqueros mediante técnicas de fotointerpretación y S.I.G.* Tesis de Master en *Gestión Integrada de Zonas Litorales*. Universidad de Cádiz, 61 pp. (inédita).

RODRÍGUEZ POLO, S.; GRACIA, F.J.; BENAVENTE, J. & DEL RÍO, L. (2009). Geometry and recent evolution of the Holocene beach ridges of the Valdelagrana littoral spit (Cádiz Bay, SW Spain). *Journal of Coastal Research*, S.I. 56, p. 20 – 23.

RODRÍGUEZ VIDAL, J.; CÁCERES, L.M. & MARTÍNEZ, A. (2010). Implicaciones paleoambientales del registro de arenas eólicas pleistocenas en el Peñón de Gibraltar. En: *Cuaternario y Arqueología. Homenaje a Francisco Giles Pacheco*. Servicio de Publ. de la Diputación Provincial de Cádiz. Cádiz, p. 93 – 100.

ROMÁN SIERRA, J.; NAVARRO, M.; MUÑOZ PÉREZ, J.J., GÓMEZ PINA, G. & FAGES, G. (2004). Ecosistemas dunares en la provincia de Cádiz: estabilizaciones en Bolonia y Valdevaqueros, T.M. Tarifa. *Revista de Obras Públicas*, 151, 65 – 76.

SÁNCHEZ, J.L. (1988). *Estudio climatológico de la Bahía de Cádiz*. Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz. Ministerio de Defensa, 150 pp.

SANTONJA, M. & PÉREZ GONZÁLEZ, A. (2010). Precisiones en torno a la edad y la industria lítica de El Aculadero (El Puerto de Santa María). En: *Cuaternario y Arqueología*.

Libro homenaje a Francisco Giles Pacheco. Diputación de Cádiz y Asociación Profesional del Patrimonio Histórico-Arqueológico de Cádiz, 19 – 26.

STIPP, J.J. & TIMERS, M.A. (2002). Detación radiométrica. En: *El asentamiento de "El Retamar" (Puerto Real, Cádiz)* (Ramos, J. & Lazarich, M., eds.), Universidad de Cádiz, pp. 169 – 172.

TRIGO, R.M.; POZO, D.; OSBORN, T.J.; CASTRO, Y.; GÁMIZ, S. & ESTEBAN, M.J. (2004). North Atlantic Oscillation influence of precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 24, 925 – 944.

ZAZO, C.; GOY, J.L.; SOMOZA, L.; DABRIO, C.J.; BELLUOMINI, G.; IMPROTA, S.; LARIO, J.; BARDAJÍ, T. & SILVA, P.G. (1994). Holocene sequence of sea-level fluctuations in relation to climatic trends in the Atlantic-Mediterranean linkage coast. *Journal of Coastal Research*, 10, 933 – 945.

ZAZO, C.; SILVA, P.G.; GOY, J.L.; HILLAIRE-MARCEL, C.; GHALEB, B.; LARIO, J.; BARDAJÍ, T. & GONZÁLEZ, A. (1999). Coastal uplift in continental collision plate boundaries: data from the Last Interglacial marine terraces of the Gibraltar Strait area (South Spain). *Tectonophysics*, 301, 95 – 109.