

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.

© de cada uno de los textos sus autores

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

Índice

Presentación

I. ASPECTOS GENERALES

1. Introducción a la geomorfología de sistemas dunares 13
E. Sanjaume, F.J. Gracia y G. Flor

II. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2. Métodos de campo y laboratorio para el estudio de procesos eólicos 67
J. Alcántara-Carrió, Á. Fontán, M.J. Sánchez y A. Corbí
3. Topografía de dunas con GPS-D 87
I. Rodríguez, M.J. Sánchez, A. González e I. Montoya
4. El estudio de sistemas dunares mediante teledetección y SIG 105
J. Ojeda e I. Vallejo

III. DUNAS COSTERAS EN ESPAÑA

5. Los campos dunares de Asturias, Cantabria y País Vasco 127
G. Flor, P. Martínez Cedrún y G. Flor Blanco
6. Caracterización y dinámica de sistemas dunares costeros de Galicia 161
A. Pérez-Alberti y M. Vázquez Paz
7. Las dunas de la costa norte catalana 187
M.A. Marqués, R. Julià y J. Montaner
8. Las dunas del Delta del Ebro 207
M.J. Sánchez, I. Rodríguez e I. Montoya
9. Las dunas de las costas valencianas 227
E. Sanjaume y J.E. Pardo

10. Las dunas de la Devesa del Saler E. Sanjaume y J.E. Pardo	263
11. Las dunas costeras de las Islas Baleares J. Servera, A. Rodríguez-Perea y J.A. Martín Prieto	285
12. Eolianitas y dunas cuaternarias en las Islas Baleares Joan Fornós	307
13. Las dunas costeras del Presente y Último Interglaciario en Málaga, Almería y Murcia T. Bardají, C. Zazo, J. Lario, J.L. Goy, A. Cabero, C.J. Dabrio y P.G. Silva	331
14. Las dunas del litoral gaditano F.J. Gracia, J. Benavente, C. Alonso, L. Del Río, J.M. Abarca, J. García de Lomas y G. Anfuso	359
15. Las dunas del litoral onubense A. Rodríguez Ramírez	387
16. El complejo eólico de El Abalarío (Huelva) C. Zazo, C.J. Dabrio, J.L. Goy, F. Borja, P.G. Silva, J. Lario, E. Roquero, T. Bardají, A. Cabero, M.D. Polo y C. Borja	407
17. El sistema de dunas activas del Parque Nacional de Doñana I. Vallejo y J. Ojeda	427
18. Origen y formación de los depósitos eólicos en Canarias C. Criado, A. Yanes, L. Hernández e I. Alonso	447
19. Los grandes campos de dunas actuales de Canarias I. Alonso, L. Hernández, J. Alcántara-Carrió, L. Cabrera y A. Yanes	467
IV. DUNAS Y DEPÓSITOS EÓLICOS CONTINENTALES EN ESPAÑA	
20. Los sistemas eólicos del interior de España: Geomorfología eólica del Pleistoceno Superior y Holoceno de Tierra de Pinares y de la Llanura Manchega M. Bernat, A. Pérez González, J. Rodríguez García y M.D. Bateman	501
21. Las acumulaciones loésicas de la Submeseta sur R. García Giménez y J.A. González	541
22. Las formas y depósitos eólicos de la Depresión del Ebro G. Desir, M. Gutiérrez Elorza, F. Gutiérrez Santolalla y C. Marín	563

V. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

23. Las dunas como hábitats de interés comunitario. Problemas de conservación J. García de Lomas, F.J. Gracia y C. García	585
24. Degradación de sistemas dunares E. Sanjaume y J.E. Pardo	609
25. Métodos generales de restauración de sistemas dunares C. Ley de Seoane, M. Navarro Pons y J.J. Muñoz Pérez	641
26. Restauración del ecosistema dunar de la Devesa: Experiencias preliminares, metodología y actuaciones A. Quintana y R.M. Martí	661
27. La gestión ambiental de los sistemas playa-duna: El caso de las Islas Baleares F.X. Roig Munar, J.A. Martín-Prieto, A. Rodríguez-Perea, M. Mir-Gual y G.X. Pons	683
Listado de autores	701
Índice de topónimos	705
Índice analítico	725



13. Las dunas costeras del Presente y Último Interglaciario en Málaga, Almería y Murcia

T. Bardají¹, C. Zazo², J. Lario³, J.L. Goy⁴, A. Cabero⁵, C.J. Dabrio⁵ y P.G. Silva⁶

1. Introducción

La presencia de dunas costeras está relacionada con la suma de distintos factores de carácter sedimentario, geomorfológico y ambiental. En costas con influencia mareal, el aporte sedimentario puede obtenerse mediante la exposición periódica de la llanura intermareal. En costas sin mareas o micromareales, como es el caso de las costas mediterráneas de Málaga, Almería y Murcia, la propia playa es la principal fuente de aporte de estos sistemas dunares, formándose inicialmente *foredunes*, y si hay aporte sedimentario y espacio suficiente, campos de dunas asociados. En sistemas costeros, las *foredunes* actúan como reserva de arena para la playa, de forma que se produce un equilibrio estacional entre sedimentación y erosión. Cuando las playas están constituidas principalmente por gravas, como es el caso de muchas de las playas de Málaga y Almería, es más difícil asegurar la fuente de sedimento de carácter arenoso propio de los sistemas dunares. El segundo factor, el geomorfológico o morfosedimentario, está ligado a la pendiente o perfil de playa, así como al espacio de acomodación. Aquellas zonas con relieves acentuados cerca de la línea de costa o con playas de tipo reflectivo, con elevada pendiente tanto en el *foreshore* como el *shoreface*, presentan mayores limitaciones para el desarrollo de dunas costeras, ya que las olas rompen

1. Dpto. de Geología, Universidad de Alcalá. 28871-Alcalá de Henares (Madrid).

Email: teresa.bardaji@uah.es

2. Dpto. de Geología, Museo Nal. CC. Naturales, CSIC. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006-Madrid.

3. Dpto. de Ciencias Analíticas, Fac. Ciencias. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), 28040-Madrid.

4. Dpto. de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca. 37008-Salamanca.

5. Dpto. de Estratigrafía, Facultad de CC. Geológicas. Insto. de Geología Económica CSIC. Universidad Complutense, 28040- Madrid.

6. Dpto. de Geología, Universidad de Salamanca, Escuela Politécnica Superior de Ávila. C/ Hornos Caleros, 50. 05003-Ávila.

prácticamente al llegar al *foreshore*, produciéndose la reflexión de la energía de nuevo hacia el mar. Pendiente y oleaje, además de un tamaño de grano grueso, dificultan el desarrollo de un *foreshore* amplio y la incorporación de sedimento a los sistemas de dunas asociados. Por el contrario, en playas con baja pendiente, de carácter disipativo, se favorece la formación de un *foreshore* amplio y bien desarrollado, que puede ayudar a la removilización de arena necesaria para la formación de dunas. Por último, es necesario que existan vientos persistentes perpendiculares u oblicuos a la línea de costa, que aseguren la movilización de los sedimentos arenosos y su incorporación a los sistemas dunares.

La suma de estos tres factores va a favorecer o dificultar el desarrollo de dunas costeras. Por lo tanto, si analizamos la incidencia de dichos factores en los litorales de Málaga, Almería y Murcia, podremos entender el diferente desarrollo de dunas costeras entre ellos y con respecto al resto de costas peninsulares.

2. Las dunas del presente interglaciar

2.1. El litoral de Málaga

El litoral de Málaga presenta unas características propias que dificultan enormemente el registro de sistemas de dunas costeras importantes. En primer lugar, la principal fuente de aporte a la costa malagueña son unos sistemas fluviales (ríos y ramblas) sin jerarquizar, torrenciales e irregulares, provenientes de las sierras cercanas, lo que determina, por lo general, una granulometría gruesa en las playas. Estos ríos y ramblas presentan además una notable reducción de aporte de sólidos en las últimas décadas debido a la retención de sedimentos finos vía creación de pantanos, embalses y otros tipos de intervenciones antrópicas. En segundo lugar, la presencia de sierras más o menos importantes muy cerca de la costa condiciona una llanura litoral estrecha y poco desarrollada, interrumpida por las desembocaduras de los sistemas fluviales principales y, por lo general, con una elevada pendiente que continúa en la plataforma continental, al menos entre los 0 y -55 m (Fig. 1), (Málvarez *et al.*, 1998; Martín-Serrano *et al.*, 2005; Vázquez, 2005).

La suma de estos dos factores es la responsable principal de que las playas a lo largo del litoral malagueño presenten un carácter reflectivo, acentuado en las últimas décadas por la elevada actividad antrópica (Málvarez *et al.*, 1998), con una granulometría gruesa y una elevada pendiente asociada. Todo ello contribuye de manera decisiva a dificultar el desarrollo de sistemas dunares costeros, independientemente de la dirección e intensidad de los vientos dominantes.

Paralelamente, la elevada presión urbanística del litoral malagueño, la mayor de toda Andalucía con casi un 60% de ocupación, dificulta tanto el desarrollo de

dunas costeras como su conservación. Algunos restos de cordones dunares más extensos que ocupaban parte del litoral antes de la gran expansión urbanística pueden todavía observarse, aunque en un estado muy degradado, en la parte alta de las playas del Alicate, La Víbora o Los Monteros, en Marbella, o en Estepona el sistema dunar de Matas Verdes, por poner algún ejemplo. El único caso relativamente bien conservado de dunas costeras en la provincia de Málaga son las dunas de Artola o Cabo Pino.

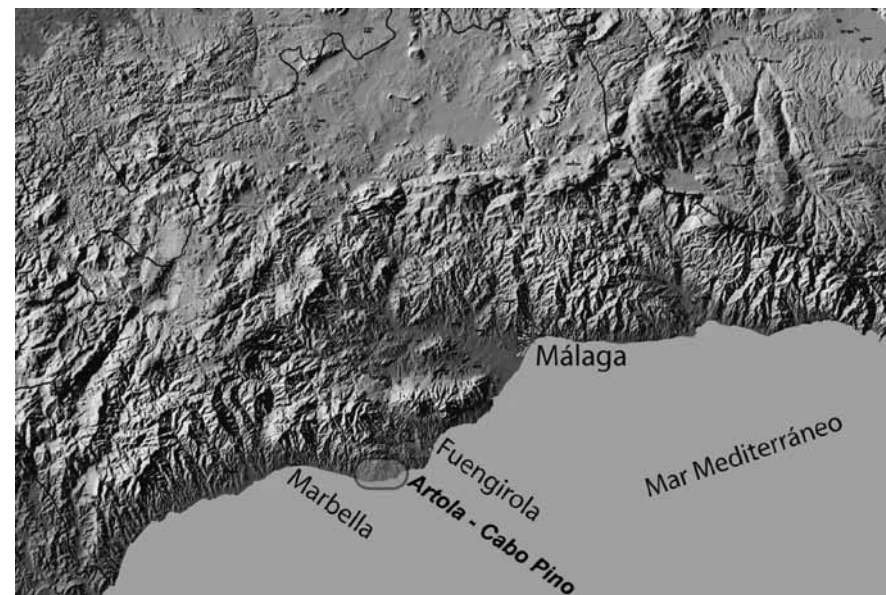


Figura 1. Litoral de Málaga con localización de los principales sistemas dunares.

2.1.1. El Complejo Dunar de Artola – Cabo Pino

Declarado Monumento Natural por la Junta de Andalucía en Septiembre de 2003, presenta 1 de los únicos 8 km de costa protegidos, de un total de 143 kilómetros lineales que tiene la costa malagueña, lo que ya nos habla de la fragilidad de este complejo dunar sometido a una importante presión antrópica. El Complejo Dunar de Cabopino (ver Fig. 1 para localización), también llamado Dunas de Artola, con sus casi 20 ha de extensión, constituye el único sistema dunar de cierta entidad de todo el litoral malagueño (Fig. 2) (Málvarez *et al.*, 1998).

La actividad eólica en esta zona de la Costa del Sol se encuentra intensificada por la presencia del Cabo de Calaburras hacia el Este, lo que aumenta la capacidad de transporte por la acción de los vientos predominantes en la zona (Poniente y Levante). Paralelamente, la orientación E-W de la línea de costa y la topogra-

fía de la plataforma en este sector han favorecido la creación de una importante corriente de deriva litoral hacia el Oeste (Málvarez *et al.*, 1998), que arrastra los materiales erosionados en la zona de Fuengirola, más expuesta a los vientos de levante y con aportes fluviales regulares de materiales finos. Según estos autores, todo esto hace que el sistema dunar de Cabopino haya encontrado una fuente constante de alimentación, que ha asegurado su creación y mantenimiento.



Figura 2. Monumento Natural de las Dunas de Artola o Cabopino (Imagen tomada de Google Earth, 2008).

Este complejo dunar está formado por dos sistemas de dunas, un sistema más antiguo y más alejado de la línea de costa, sin movilidad actual, cuyas arenas se encuentran fijadas por una vegetación compuesta por pinos, sabinas y monte bajo mediterráneo (Fig. 3). Hacia el mar se desarrolla, paralelamente a la línea de costa, un segundo sistema de dunas móviles, más activas según su cercanía a la playa, con vegetación psammófila especialmente adaptada a condiciones de intensa insolación (Red de Espacios Protegidos de la Junta de Andalucía, 2007).

Estado actual de conservación. Principales amenazas

La presencia de este complejo dunar está ligada, entre otros factores, a la exposición S y SW de la costa y a la geometría natural de la playa de tipo disipativo. La construcción del puerto deportivo en los años 70, alteró totalmente la dinámica litoral y la topografía infralitoral, comenzando así un período dominado por la erosión y pérdida de sedimentos que continúa en la actualidad. La interrupción del transporte sedimentario como consecuencia de la construcción del muelle de levante (Fig. 2), ha favorecido su acumulación aguas arriba de la

deriva litoral, con el consiguiente aumento de la pendiente en la zona de *surf* (Málvarez *et al.*, 1998), aumentando la reflectividad de la playa y con ello la pérdida de los materiales finos que alimentaban previamente al complejo dunar.

Como consecuencia de este proceso, la playa que protege al sistema dunar de Cabopino, sufre desde entonces un continuo proceso de erosión, que en determinados puntos ha provocado la desaparición total de la misma, empezando a evidenciarse procesos erosivos sobre las dunas. La radical transformación de aquellas condiciones naturales que favorecieron el desarrollo de este complejo dunar, han sido sustituidas por otras que no solo impiden el desarrollo sino que comienzan a destruir los sistemas dunares preexistentes.



Figura 3. Imagen del Complejo Dunar de Artola o Cabopino (MMAMRM, 2009).

2.2. El litoral de Almería

La actividad eólica es mucho más intensa en el litoral de la provincia de Almería que en Málaga. Las manifestaciones de actividad eólica no se limitan únicamente al desarrollo de sistemas dunares, fósiles y actuales o subactuales, sino que también es relevante la existencia de extensas superficies de deflación con desarrollo de ventifactos.

Por lo que respecta al registro dunar, gran parte del mismo ha desaparecido en esta provincia en los últimos años como consecuencia de la presión urbanística, tanto turística como agrícola (invernaderos). No obstante hemos seleccionado los cuatro sectores que consideramos más representativos de este litoral (Fig. 4): El sector occidental de Campo Dalías, entre Adra y Guardias Viejas; la Reserva Natural de Punta Entinas – El Sabinar; el sector litoral del Campo de Níjar, entre El Alquíán y Cabo de Gata, y el Sector oriental de la provincia, entre el de Cabo de Gata y la provincia de Murcia.

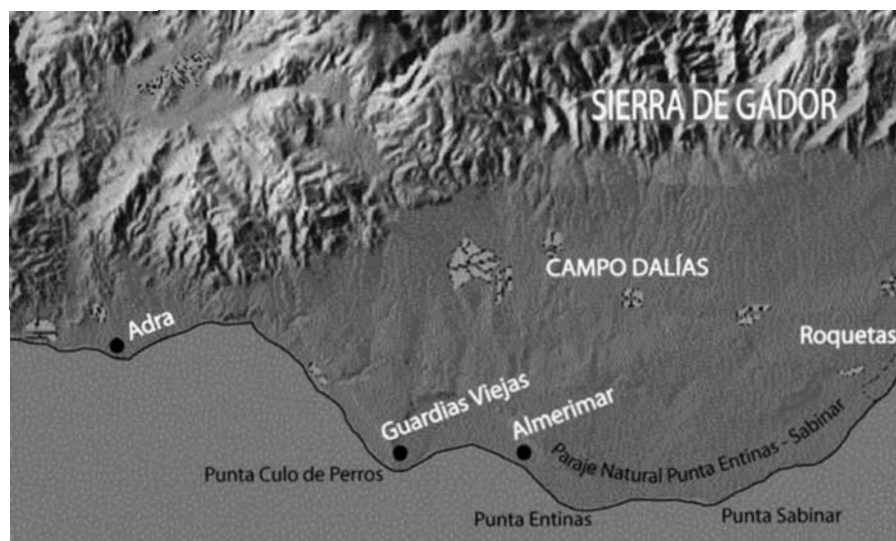


Figura 4. Localización de los principales sistemas dunares del litoral occidental de Almería (Adra – Roquetas).

2.2.1. Adra – Guardias Viejas

En el sector occidental del Campo de Dalías han sido citados (Ovejero, 1969; Baena & Ewert, 1983) numerosos ejemplos de dunas rampantes o remontantes discontinuas, apoyadas sobre acantilados fósiles desde la zona de la Albufera de Adra hasta Guardias Viejas (Fig. 4). En esta última zona es donde presentan una mayor extensión, y en donde fosilizan sucesivos acantilados fósiles, alcanzando su mayor espesor y altura en la Punta de Culo de Perros (Fig. 5). No obstante, la urbanización de esta zona y principalmente la ocupación por invernaderos que ha transformado el paisaje en los últimos años, han hecho desaparecer muchos de estos enclaves.



Figura 5. Dunas rampantes ya desaparecidas en Punta de Culo de Perros (Ovejero, 1969).

La edad de estas formaciones puede establecerse, de manera relativa, en función de su posición con respecto a los acantilados sobre los que se apoyan. Estos acantilados se desarrollan sobre materiales marinos correspondientes al Último Interglaciario y sistemas aluviales del Último Período Glaciar (Goy & Zazo, 1986; Baena & Ewert, 1983). El desarrollo de estas dunas debió producirse por tanto entre el Óptimo Climático Holoceno y la actualidad, asociado con un nivel del mar en retroceso hasta su posición actual. La edad de esta alta posición del nivel del mar, asociada al Óptimo Climático Holoceno, ha sido establecida en 7.400 cal. BP en el S y SE de la Península Ibérica (Zazo *et al.*, 1994; Dabrio *et al.*, 2000; Goy *et al.*, 2003).

2.2.2. El Paraje Natural de Punta Entinas – El Sabinar

El Paraje Natural de Punta Entinas-Sabinar se extiende desde la urbanización de Almerimar hasta Roquetas de Mar, abarcando una superficie de unas 1.945 ha, dentro de la cual se ha declarado Reserva Natural, con una extensión de 785 ha, la zona comprendida entre Punta Entinas y Punta Sabinar (Figs. 4 y 6). Este Paraje incluye una serie de lagunas litorales (Las Entinas, los Cerrillos, Las Marinas) cerradas por el crecimiento de flechas litorales holocenas (*beach ridges*), a las que se asocian estos sistemas dunares (*fordunes*).

Todas estas unidades morfosedimentarias se encuentran encajadas y adosadas al pequeño paleoacantilado labrado durante una alta posición del nivel del mar durante el Holoceno. La edad y el inicio del desarrollo de los sistemas

dunares puede establecerse a partir del análisis de la evolución morfodinámica de este sector (Goy *et al.*, 2003).



Figura 6. Límites del Paraje Natural de Punta Entinas – Sabinar (imagen tomada de Google Earth, 2008).

Tras el desarrollo de dicho paleoacantilado hace ca. 7.400 cal BP, comienza la progradación de hasta 6 sistemas de flechas litorales (H1 a H6 según Goy *et al.*, 2003) cuyo diferente desarrollo y distribución ha permitido reconstruir los cambios experimentados por el régimen de vientos a lo largo del Holoceno (Fig. 7). Según esta reconstrucción, durante gran parte de la historia deposicional de este sector (desde 7400 hasta 3000 cal BP) existía un equilibrio entre las corrientes de deriva litoral promovidas respectivamente por vientos del W y del E. Entre 2700 y 1900 cal BP (H4), se produce un cambio drástico en la dinámica litoral en este sector comenzando a predominar una deriva litoral dirigida por vientos dominantes del SW, con erosión de las unidades previas, condiciones que perduran en la actualidad.

Este cambio ambiental ocurrido hace ca. 2700 cal BP, se registra también en otros puntos del Sur de la Península Ibérica. Goy *et al.* (1998) encuentran que las acumulaciones eólicas holocenas en la zona de Cabo de Gata, comienzan hace ca. 2700 cal BP como consecuencia de una intensificación en los vientos del SW. Borja *et al.* (1999) también encuentran que el inicio de la acumulación de dunas en el Golfo de Cádiz comenzó hace ca. 2700 cal BP, bajo vientos dominantes del WSW. Registros polínicos en el Mediterráneo occidental, apuntan hacia una fase de mayor aridez hacia los 2780 cal BP (Jalut *et al.*, 2000).

Todos estos datos indican que el momento en que comienzan a desarrollarse los sistemas dunares puede correlacionarse con esta fase de mayor aridez y cambios en la dirección de los vientos dominantes.

En la actualidad se pueden distinguir dos sistemas dunares, uno móvil más cercano al litoral, y un segundo sistema de dunas semiestabilizadas por la vegetación hacia el interior. Ambos sistemas responden al mismo modelo genético, ya que en ambos casos se trata de *foredunes*, que se desarrollan en la parte más interna de la playa o de un *beach ridge*, como es nuestro caso. El sistema más antiguo, semiestabilizado por la vegetación, está constituido en realidad por las diferentes *foredunes* asociadas a los primeros sistemas de flechas litorales y *beach ridges* desarrollados entre los ca. 7000 cal BP y los ca. 2700 cal BP, cuando existía un equilibrio entre los vientos del W y del E en todo este sector. Las dunas más cercanas al litoral son por tanto las *foredunes* de los sistemas de *beach ridges* más recientes, asociados a vientos del SW.

Estado actual de conservación: Principales amenazas

Este sistema dunar es uno de los mejor conservados de la Península Ibérica gracias a encontrarse incluido dentro del Paraje Natural de Punta Entinas – Sabinar (Ley 2/89, BOJA 25/07/89). El tramo central es el que presenta un mayor grado de conservación, ya que tiene el acceso restringido, lo que regula la entrada de visitantes. En la zona oriental, al Este de Punta Entinas se encuentran antiguos yacimientos de arena, actualmente fuera de explotación pero que contribuyen al estado degradado de las dunas, donde además se han creado numerosos caminos que facilitan la entrada y por lo tanto aumentan la vulnerabilidad. El tramo más degradado es la parte occidental del Paraje, ya que su cercanía a la urbanización de Almerimar concentra muchas entradas de visitantes, no controladas, habiéndose creado numerosos caminos y sendas en los cordones dunares, sobre todo en los más cercanos a la playa.

2.2.3. Sector Litoral del Campo de Níjar

A lo largo de todo el tramo costero comprendido entre El Alquíán y el Cabo de Gata (Fig. 8), fueron descritas (Zazo, 1969) importantes acumulaciones eólicas de diferente morfología y extensión, hoy en día prácticamente desaparecidas o muy degradadas y estabilizadas.

Entre El Alquíán y Rambla Amoladeras, todavía se conservan acumulaciones sin forma definida aunque ligeramente onduladas, y que se encuentran parcialmente fijadas por la vegetación (Fig. 9).

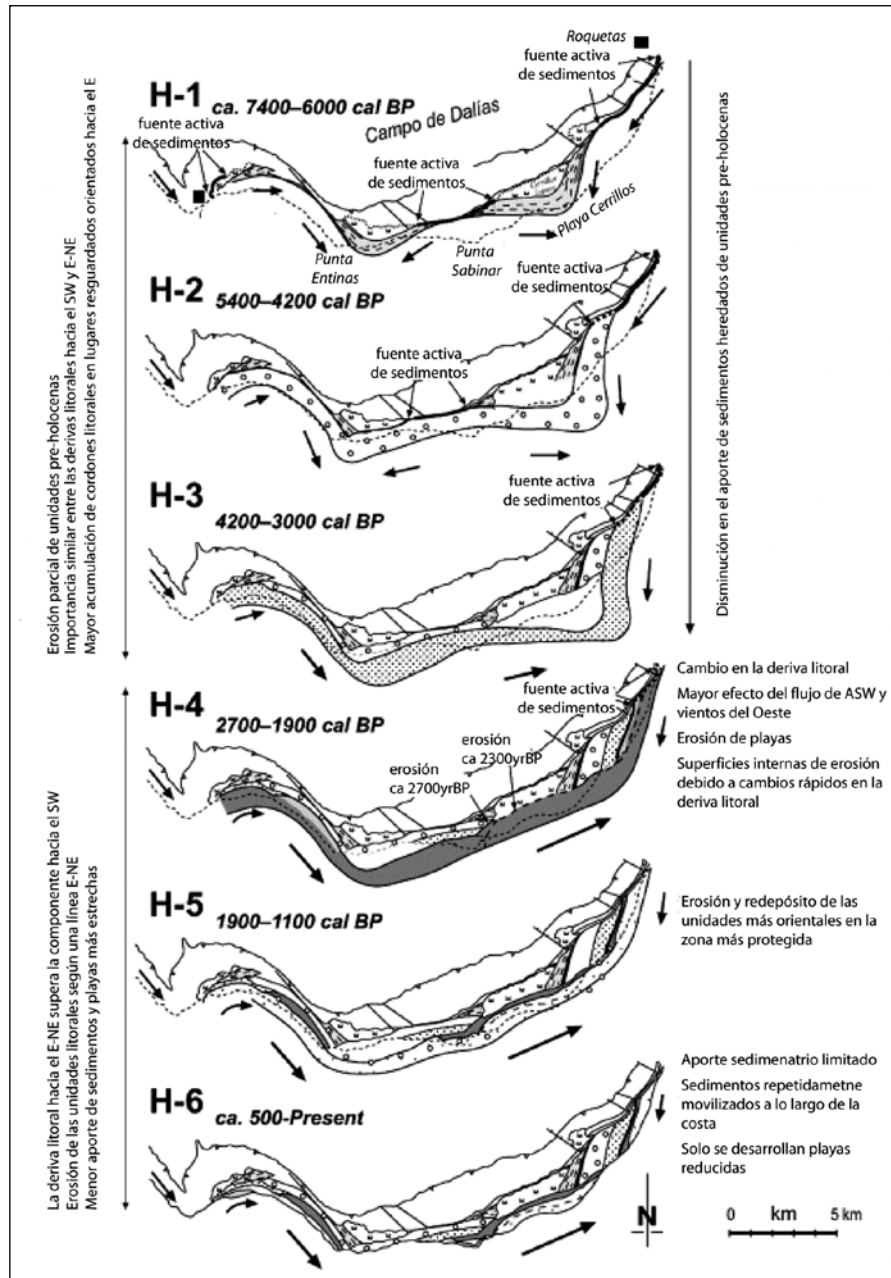


Figura 7. Evolución del sector costero entre Punta Entinas y Roquetas de Mar durante el Holoceno (según Goy *et al.*, 2003).

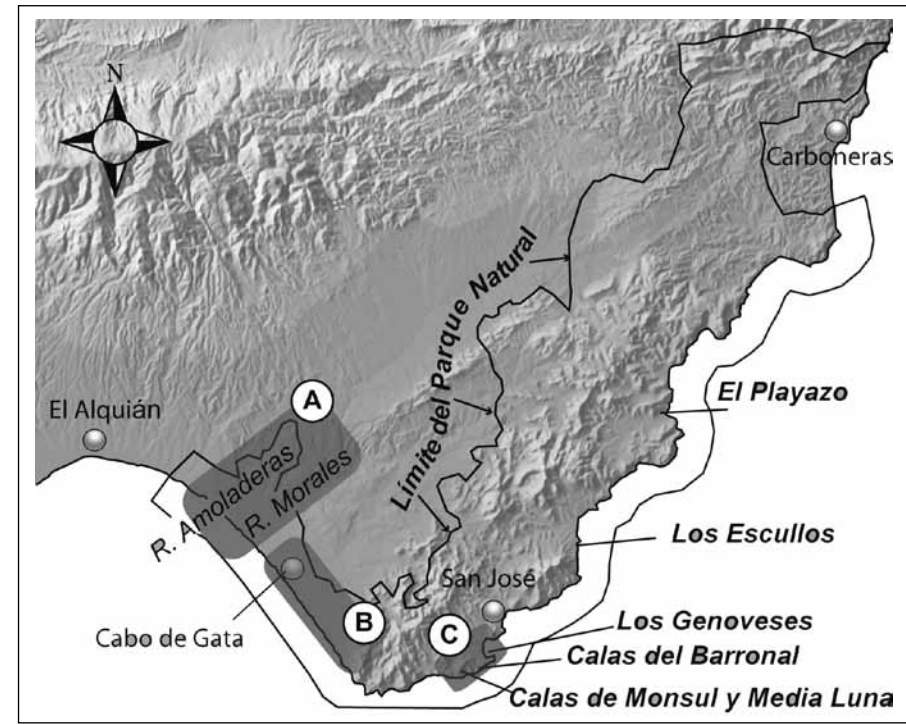


Figura 8. Localización de las principales unidades dunares en el sector El Alquíán - Cabo de Gata y litoral de la Sierra de Gata (A, B y C: sectores descritos en el texto).



Figura 9. Imagen actual del campo de dunas que se sitúa entre El Alquíán y El Tollo-Retamar.

Más hacia el Sur, desde el inicio del Parque Natural de Cabo de Gata hasta la Rambla Morales (A en Fig. 8), se extendía un campo de dunas móviles de más de 6 km² (Fig. 10), en el que podían diferenciarse cordones dunares lineales, más próximos al litoral, y barjanes hacia el interior. En la zona de Rambla Amoladeras es donde este campo de dunas penetra tierra adentro, alcanzando en su momento hasta 2 km de longitud, y en donde podían distinguirse arenas móviles, dunas lineales y barjanes activos. La dirección del viento dominante responsable de estas acumulaciones es del SW. En la actualidad la mayor parte de estas dunas se encuentra fijada por la vegetación, siendo muy puntuales y poco potentes las acumulaciones de dunas activas, que en muchos casos se concentran en las paredes de las ramblas encajadas. Las superficies más altas sobre las que se encajan las ramblas actuales, están constituidas por terrazas marinas pleistocenas sometidas a una intensa deflación.



Figura 10. Imagen de una de las dunas activas que se desarrollaban en los alrededores de Rambla Morales (Zazo, 1969).

Por último, tenemos los sistemas dunares que se desarrollan asociados al cordón de cierre de las Salinas de Cabo de Gata (B en Fig. 8), entre el propio pueblo de Cabo de Gata y la Almadraba de Monteleva (Fig. 11). En este sistema todavía se puede diferenciar el cordón correspondiente a las *foredunes* y las dunas traseras, más hacia el interior. No obstante, ambos tipos se encuentran poco desarrollados, bastante compactados y parcialmente fijados por la vegetación.

Estado actual de conservación: Principales amenazas

En general se puede decir que todo este tramo no presenta la elevada transformación antrópica que podemos observar en el resto del litoral, principalmen-

te debido a que la mayor parte se encuentra dentro del espacio protegido del Parque Natural de Cabo de Gata. No existe una gran presión urbanística ni agrícola, de forma que la única alteración directa de todo este sistema la constituye la entrada de vehículos, con la consiguiente generación de caminos y sendas. No obstante, se observa una marcada tendencia hacia una menor disponibilidad de material sedimentario, así como a una mayor fijación por la vegetación en las últimas décadas.



Figura 11. Imagen del cordón de cierre de las Salinas de Cabo de Gata, donde puede apreciarse el estado actual de las dunas asociadas a dicho cordón.

2.2.4. Sistemas dunares de la Sierra de Cabo de Gata

En el litoral de la Sierra de Cabo de Gata son numerosos los ejemplos de dunas litorales desarrolladas en las diferentes calas y pequeñas playas que lo jalonan (Fig. 8). En la mayoría de los casos a los sistemas dunares holocenos se anteponen dunas fósiles correspondientes al Último Interglaciario, que comentaremos más adelante. La mayor parte de estos edificios dunares están constituidos por dunas remontantes que se van adaptando a la morfología del sustrato volcánico, aunque en los casos en que la orografía del terreno lo permite se llegan a desarrollar diferentes sistemas.

Entre San José y el propio Cabo de Gata, se pueden encontrar numerosos ejemplos de dunas desarrolladas en las pequeñas playas y calas (C en Fig. 8). Entre los ejemplos más bonitos y mejor desarrollados están las dunas de la pla-

ya de los Genoveses, donde se pueden identificar varios sistemas dunares del Último y Presente Interglaciares. Este amplio desarrollo se ha visto favorecido por la constante actividad eólica y la topografía relativamente plana a espaldas de la playa, permitiendo el avance de las *foredunes* hacia el interior. Estas dunas parecen deberse a vientos dominantes de componente NE tal y como se deduce de su distribución en la zona más meridional de la bahía, expuesta a vientos de dicho cuadrante (Fig. 12).



Figura 12. Bahía de los Genoveses. Se puede apreciar el desigual desarrollo de las acumulaciones dunares, entre el sector Norte (A) y Sur (B). Los vientos dominantes de componente NE favorecen la acumulación de dunas en este último sector.

Otros ejemplos son las dunas desarrolladas en las Calas de Monsul (Fig. 13) o de la Media Luna, más hacia el Sur, donde la actividad eólica se asocia a vientos de componente más meridional (S-SW), al igual que las dunas remontantes desarrolladas a espaldas de Cala del Barronal, Cala Grande y Cala Chica.



Figura 13. Dunas activas en la Cala de Monsul (Almería).

Estado actual de conservación. Principales amenazas

En general todas las dunas desarrolladas en este sector litoral presentan un grado de conservación excepcional, dado su alto grado de protección al estar situadas dentro del Parque Natural del Cabo de Gata, y también debido a la dificultad de acceso. Entre las que presentan un mayor grado de vulnerabilidad están las de Los Genoveses, Mónsul y la Media Luna, cercanas a San José, localidad de elevado interés turístico, y de fácil acceso para vehículos; de hecho, en algún caso el propio aparcamiento afecta a las dunas existentes.

2.3. El litoral de Murcia

El desarrollo de dunas en el litoral de Murcia durante el Presente Interglaciario, ha sido amplio e importante, aunque restringido a zonas concretas donde concurren los condicionantes idóneos para su desarrollo: viento, disponibilidad de sedimentos y espacio adaptativo. Independientemente de la presencia de *foredunes*, de escaso desarrollo en muchas de las playas arenosas de este litoral, existen tres enclaves que podemos considerar emblemáticos: las dunas del Parque Regional de Las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar; La Manga del Mar Menor y el Parque Regional de Calblanque (Fig. 14). Cada uno de ellos caracterizados por un diferente desarrollo y grado de conservación, por lo que los trataremos por separado.

2.3.1. Las dunas del Parque Regional de San Pedro del Pinatar

Estos sistemas dunares también están considerados entre los mejor conservados del SE peninsular, y forman parte del Parque Regional de los Arenales y Salinas de San Pedro del Pinatar. Su génesis está ligada a la existencia de los persistentes vientos de Levante, muy activos en toda esta fachada mediterránea del litoral murciano. Estos sistemas de dunas se desarrollan sobre el inicio del cordón de cierre del Mar Menor, que en este sector ha sido explotado como salinas desde la Edad Media.

La cuenca del Campo de Cartagena - Mar Menor es una cuenca de carácter transpresivo (Silva *et al.*, 1993) que muestra una deformación E-W a gran escala, con la máxima subsidencia en el centro de la depresión, donde una importante deriva litoral hacia el Sur ha condicionado el crecimiento de sucesivos cordones de cierre a lo largo del Pleistoceno, la mayor parte de los cuales se encuentran sumergidos debido al carácter subsidente, siendo La Manga del Mar Menor el más reciente de todos ellos (Somoza, 1989). En San Pedro del Pinatar se encontraría por tanto el inicio de dicho cordón litoral, que crece a partir de las zonas más elevadas del borde de cuenca. Dada la edad de los afloramientos dunares

más antiguos encontrados en la Manga (Último Interglaciario), es muy probable que el desarrollo dunar en todo el sector se produzca también a partir de este momento. No obstante, no se han encontrado afloramientos de dicha edad en este tramo inicial de San Pedro del Pinatar, lo que también podría interpretarse como que el cordón del Último Interglaciario está aquí sumergido y lo que encontramos en superficie corresponde tan solo al Presente Interglaciario.



Figura 14. Localización de los principales sistemas dunares en la provincia de Murcia. A) Parque Regional de los Arenales y Salinas de San Pedro del Pinatar; B) La Manga del Mar Menor; C) Parque Regional de Calblanque.

En el Parque Regional de Los Arenales de San Pedro del Pinatar se pueden diferenciar distintos sistemas dunares de tipo transversal, más o menos fijados por la vegetación. La vegetación natural de estos sistemas consiste en un bosque bajo mediterráneo denso, con matorrales y arbustos. En el siglo XIX toda esta zona fue deforestada de manera que se disparó el movimiento de arena afectando a la explotación salinera, por lo que ya en el siglo XX se procedió a la reforestación para evitar este transporte de arena hacia las salinas (Cavero, 1988).



Figura 15. *Foredunes* en el Parque Regional de San Pedro del Pinatar, con actuaciones de fijación y revegetación.

Las dunas más cercanas al litoral (*foredunes*) son dunas activas aunque las actuaciones del Parque, tendientes a la recuperación de la vegetación dunar, generan una fijación incipiente de las mismas, lo que impide su libre movimiento (Fig. 15). Hacia el interior, estos sistemas dunares fijados por la vegetación, alternan con surcos interdunares donde se desarrollan zonas húmedas, de mayor salinidad, y de alto valor ecológico (Fig. 16). En las crestas de estos sistemas dunares, se han descrito costras microbióticas de algunos centímetros de espesor formadas por micelios de hongos (Álvarez-Rogel *et al.*, 2007), que favorecen la aglutinación de las partículas de arena, contribuyendo así a la fijación y falta de

movilidad de las dunas. Estos mismos autores citan la presencia de *Posidonia oceánica* a profundidades de hasta 1 m en diferentes sondeos realizados en el campo dunar, lo que interpretan como un indicio del avance hacia el mar de la línea de costa en este sector y una progresiva acreción del sistema dunar.

Estado actual de conservación. Principales amenazas

Como ya hemos dicho, este sistema dunar es uno de los mejor conservados del litoral mediterráneo peninsular, gracias al hecho de formar parte de un Parque Regional. No obstante, consideramos que en algún caso la conservación puede llevar paradójicamente a la manipulación y eventual destrucción de un valor natural como son las dunas. En este caso, el avance de las dunas, empujadas por los vientos del Este, puede alterar la explotación salinera que también forma parte del Parque Regional, por lo que las medidas habituales son de fijación mediante la revegetación de las dunas. Por lo general, las medidas de conservación de los espacios naturales se encaminan hacia la conservación de flora y fauna, lo que quizás va en detrimento de la conservación de estos sistemas morfodinámicos tan activos.



Figura 16. Dunas fijas con surco interdunar en primer plano en el Parque Regional de San Pedro del Pinatar.

2.3.2. Las dunas de La Manga del Mar Menor

En realidad las dunas de La Manga del Mar Menor prácticamente ya no existen debido a la desorbitada presión urbanística que ha sufrido este cordón litoral. Las primeras obras urbanísticas en la Manga comenzaron en 1963 a partir de su entrada en el ámbito de la Ley de Centros de Interés Turístico, aprobándose definitivamente los planes de ordenación urbana en 1966 y 1968, lo que fue el inicio del fin de los sistemas dunares que se desarrollaban en La Manga (Fig. 17).



Figura 17. La Manga del Mar Menor en una imagen de 1964 vista desde el Monte Blanco hacia el Sur (www.marmenor.com).

La Manga del Mar Menor se encuentra abierta a la acción de los vientos dominantes de la región, Poniente y Levante. Su dinámica ligada a la deriva litoral asegura un aporte continuado de sedimentos cuyo retrabajamiento por el viento favorece el desarrollo de dunas. Esta era la situación antes del masivo desarrollo urbanístico, con unas arenas fácilmente removilizables, que se iban adaptando a los afloramientos volcánicos preexistentes. De hecho, hasta hace unos años todavía eran visibles restos de dunas semi-cementadas holocenas adosadas a los relieves volcánicos del Monte Blanco. En la actualidad, han desaparecido prácticamente todas las dunas, tan solo en aquellos puntos todavía sin urbanizar pueden observarse pequeñas acumulaciones dunares, de poco espesor, muy de-

gradadas, como es por ejemplo el restringido campo de dunas que se desarrolla en el extremo más meridional, ya en su límite con Cabo de Palos. En otros puntos se pueden observar también pequeñas acumulaciones eólicas, adosadas a las edificaciones más cercanas a la playa.

Estado actual de conservación. Principales amenazas

Es obvio que el estado de conservación de las dunas costeras en La Manga es nulo, ya que prácticamente han desaparecido. Los únicos enclaves en los que todavía pueden observarse restos de estos sistemas naturales, desaparecerán sin duda víctimas también de la elevadísima presión antrópica. Aunque las dunas prácticamente ya no existan, lo que no ha desaparecido en La Manga es el viento, por lo que éste se convierte en una de las principales amenazas y elementos de vulnerabilidad. La existencia de numerosos edificios de gran altura a lo largo de toda La Manga, genera corredores de viento que hacen aumentar enormemente la erosión por deflación a la salida de dichos corredores, impidiendo por tanto el desarrollo de dunas, aunque sea incipiente.

2.3.3. Calblanque

En contraposición a la enormemente antropizada Manga del Mar Menor, tenemos a escasos kilómetros uno de los parajes naturales más impresionantes que todavía permanecen vírgenes en el litoral mediterráneo peninsular: el Parque Regional de Calblanque. En 1987 se aprobó el Plan Especial de Protección de Calblanque, que lo salvó de la especulación urbanística, siendo declarado Parque Regional gracias a la Ley 4/92 de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia.

En Calblanque se desarrolla un cordón litoral que sirve de cierre a una pequeña laguna costera, antiguamente explotada como salinas, y en el que se han podido diferenciar cuatro sistemas de dunas solapados (Fig. 18; Baena *et al.*, 1981). El más antiguo corresponde a un cordón oolítico del Último Interglaciario, que será comentado más adelante, sobre el que se superpone un segundo sistema dunar, rico en conchuela, cuya edad podría corresponder a un episodio más reciente dentro del Último Interglaciario. A continuación se observa otro cordón dunar parcialmente cementado al que se superponen las dunas actuales móviles (Fig. 19). Por lo general estos sistemas corresponden a dunas de carácter transversal, aunque los más recientes van adaptándose progresivamente al espacio dejado por los sistemas previos.

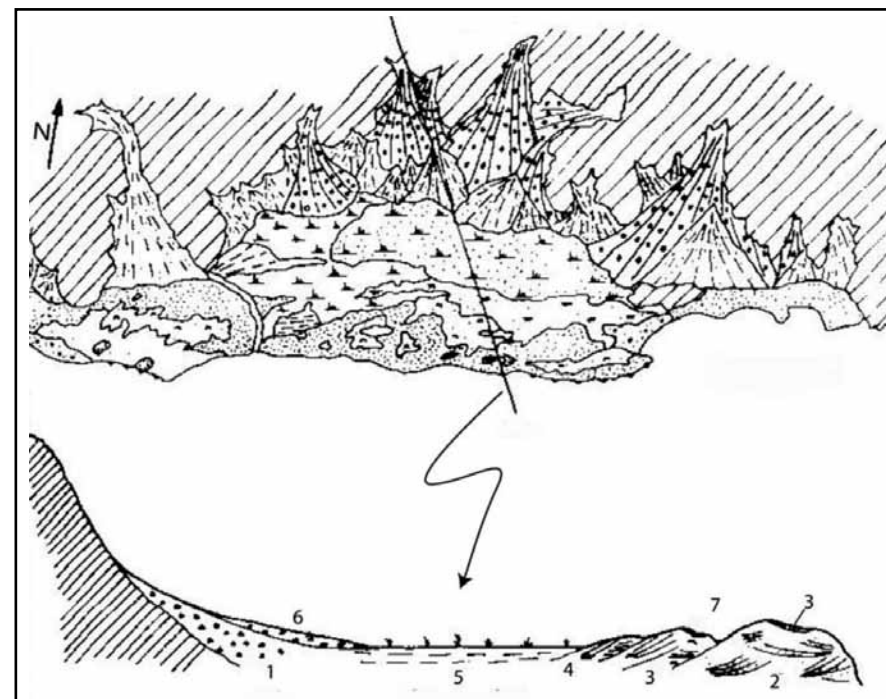


Figura 18. Esquema sintético donde se observa la distribución de unidades dunares correspondientes al cordón de cierre de la laguna litoral de Calblanque (Baena *et al.*, 1981). 1: Conos y abanicos aluviales antiguos; 2: Dunas oolíticas, 3: Dunas ricas en conchuela, cementadas; 4: Dunas parcialmente cementadas; 5: Depósitos de lagoón; 6: Conos y abanicos aluviales recientes; 7: Dunas móviles.



Figura 19. Sistema dunar de Calblanque (Murcia).

3. Las dunas del último interglaciar

El desarrollo dunar en todo este sector del S y SE peninsular sigue unas pautas similares en el Presente y Último Interglaciario, aunque con algunas diferencias importantes en cuanto a su distribución.

En líneas generales, el registro dunar correspondiente al Último Interglaciario en la provincia de Málaga es muy escaso, así como en el litoral de Almería, entre Adra y Cabo de Gata. Por el contrario, donde encontramos un registro más completo de dunas asociadas al Último Interglaciario es en aquellos sectores costeros orientados hacia el Este, lo que hace intuir una mayor influencia de los vientos de Levante en ese momento (Bardají *et al.*, 2009), (Fig. 20).



Figura 20. Localización de los principales afloramientos de dunas del Último Interglaciario en el litoral mediterráneo español. Prácticamente en todas las localidades se registran tanto dunas oolíticas como siliciclásticas, excepto en Salou-Morro del Gos, donde tan solo se han citado dos sistemas dunares siliciclásticos superpuestos (modificado de Bardají *et al.*, 2009).

La mayoría de los depósitos marinos correspondientes al Último Interglaciario que han sido descritos en el litoral de Málaga (Lhenaff, 1977; Lario, 1996) constituyen playas de granulometría gruesa poco desarrolladas, habiéndose citado tan solo un afloramiento al Oeste del puerto de Marbella (Lhenaff, 1977), en

la actualidad desaparecido debido a la presión urbanística, en el que, sobre una calcarenita bioclástica, se describen unas arenas dunares ligeramente cementadas por nódulos calcáreos, siendo difícil precisar más su edad. Este mismo autor cita unos depósitos marinos (de +2 a +4 m) en Torre Bermeja (entre Málaga y Fuengirola, Fig. 1) que pasan en la vertical a arenas bien clasificadas, que podrían interpretarse como de origen eólico, y cuya edad por correlación con otros depósitos similares sería asimilable al Último Interglaciario sin poder precisar más.

En las provincias de Almería y Murcia, por el contrario, el registro dunar correspondiente al Último Interglaciario es mucho más completo. En general, el pico más antiguo y más cálido del Último Interglaciario (*Marine Isotopic Stage*, MIS, 5e), se registra en muchos puntos del litoral mediante el desarrollo de sistemas dunares de carácter oolítico. Es de resaltar que en tan solo dos puntos se ha identificado la playa oolítica (con *Strombus bubonius*) asociada a estas *fore-dunes* (El Playazo, Almería y Cope, Murcia). Se registra también en gran parte del litoral otro sistema dunar más reciente, en este caso más cuarzoso y de color amarillento, que por lo general se asocia o bien a un *highstand* más reciente dentro del MIS 5e, o bien al MIS 5c/5a (Fig. 21).



Figura 21. Dunas siliciclásticas amarillentas en Cala Dorada, en el extremo oriental del Parque Regional de Calblanque.

Los oolitos son pequeños granos esféricos de carbonato cálcico, formados por envueltas concéntricas de cristales fibrosos de aragonito dispuestos en este caso tangencialmente, lo que se relaciona con un medio de formación de energía relativamente alta (Loreau & Purser, 1973). Los requerimientos necesarios para la formación de oolitos son: a) plataforma costera de baja pendiente, amplia y somera; b) agua sobresaturada en CaCO_3 , probablemente relacionado con calentamiento y evaporación en la plataforma costera; c) agitación persistente, ya sea por oleaje o por mareas, lo que facilita la pérdida de CO_2 y, consiguientemente, la precipitación de CaCO_3 ; y d) aporte continuado de CaCO_3 (Lloyd *et al.*, 1987; Wanless & Tedesco, 1993).

La presencia tan extendida de dunas oolíticas en esta zona, hace que podamos interpretar que durante el MIS 5e, las condiciones a lo largo de todo este litoral eran similares a las descritas, plataforma somera, agitada por el oleaje, alta concentración de CaCO_3 y una temperatura por encima de la actual (presencia de *Strombus bubonius* y fauna senegalesa). Por otro lado, la orientación preferentemente hacia el Este de los sectores litorales donde se desarrollan estas dunas, y su comparación con el patrón estacional de vientos en la actualidad, ayuda a interpretar una mayor incidencia de los vientos procedentes del Levante durante este período (Bardají *et al.*, 2009).

Entre los mejores afloramientos de dunas oolíticas de las provincias de Almería y Murcia podemos resaltar los siguientes: en la provincia de Almería, Bahía de los Genoveses (Fig. 22) y El Playazo, todos ellos en el litoral de la Sierra de Gata. En la provincia de Murcia destacan los cordones dunares de Cope (Fig. 23) y Calblanque (Fig. 24). En la Manga del Mar Menor, todavía pueden observarse restos de este cordón oolítico.



Figura 22. Dunas oolíticas muy cementadas de la bahía de los Genoveses, a las que se superponen las dunas móviles actuales.



Figura 23. Cordón dunar oolítico de Cope.



Figura 24. Dunas oolíticas de Calblanque, se puede ver también cómo las dunas más recientes semicementadas se adaptan a la morfología preexistente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos CGL2008-3998, CGL2008-04000 y GRACCIE-CSD-2007-00067. Así mismo es una contribución al IGCP495 (*Quaternary Land Ocean Interactions: Driving Mechanisms and Coastal Responses*); al Proyecto 0911-INQUA-CMP (*Decoding the Last Interglacial in Western Mediterranean*) y del Grupo de Trabajo de Paleoclimatología y Cambio Global (UCM 910198).

Referencias

- ÁLVAREZ-ROGEL, J., CARRASCO, L., MARÍN, C.M. & MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J.J. (2007). Soils of a dune coastal salt marsh system in relation to groundwater level, micro-topography and vegetation under a semiarid Mediterranean climate in SE Spain. *Catena*, 69, 111 – 121.
- BAENA, J., GOY, J.L. & ZAZO, C. (1981). El litoral de Almería. En: *Libro Guía Excursión Mesa-Redonda sobre el Tirreniense del Litoral Mediterráneo Español*, (Aguirre, E., coord.). INQUA Sucomm. Méditerranée-Mer Noir. Madrid-Lyon.
- BAENA, J. & EWERT, K. (1983). *Cartografía y Memoria Geológica. Hoja 1058 (22-44), Roquetas de Mar*. Mapa Geológico de España, E. 1:50.000. Plan Magna, 2ª Serie. IGME.
- BARDAJÍ, T., GOY, J.L., ZAZO, C., HILLAIRE-MARCEL, C., DABRIO, C.J., CABERO, A., GHALEB, B., SILVA, P.G. & LARIO J. (2009). Sea level and climate changes during OIS 5e in the Western Mediterranean. *Geomorphology*, 104, 22 – 37.
- 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, 333 – 339.
- CAVERO, L. (1988). *El Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua de la Comunidad de Murcia. Murcia, Spain, 125pp.
- 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 Cádiz, southern Spain). *Marine Geology*, 162, 381 – 404.
- GOY, J.L. & ZAZO, C. (1986). Western Almería (Spain) coastline changes since the last Interglacial. *Journal of Coastal Research*, Spec. Iss. 1, 89 – 93.
- GOY, J.L., ZAZO, C., DABRIO, C.J., BAENA, J., HARVEY, A.M., SILVA, P., GONZÁLEZ, F. & LARIO, J. (1998) Sea level and climate changes in the Cabo de Gata lagoon (Almería) during the last 6500 yr BP. *INQUA Subcommission on Mediterranean and Black Sea Shorelines (MBSS) Newsletter*, 20, 11–18.
- GOY, J.L., ZAZO, C. & DABRIO, C.J. (2003). A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level and climate variability during the Holocene (Gulf of Almería, Western Mediterranean). *Geomorphology*, 50 (1-3), 251 – 268.
- JALUT, G., AMAT, A.E., BONNET, L., GAUGUELIN, TH. & FONTUGNE M. (2000). Holocene climatic changes in the western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 160, 255–290.
- LARIO, J. (1996). *Último y Presente Interglaciario en el área de conexión Atlántico – Mediterráneo: Variaciones del nivel del mar, paleoclima y paleoambientes*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 269 pp. (inédita).
- LHENAFF, R. (1977). *Recherches geomorphologiques sur les Cordilleras Bétiques centro-occidentales (Espagne)*. Tesis Doctoral. Université Paris-Sorbonne, 713 pp (inédita)

- LLOYD, R.M., PERKINS R.D. & KERR, S.D. (1987). Beach and shoreface ooid deposition on shallow interior banks, Turks and Caicos Islands, British West Indies. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57, 976 – 982.
- LOREAU, J.P. & PURSER, B.H. (1973). Distribution and ultrastructure of Holocene ooids in the Persian Gulf. En: *The Persian Gulf* (Purser, B.H., ed.). Springer-Verlag, New York, 279–328.
- MÁLVAREZ, G., LARIO, J., ZAZO, C., GOY, J.L. & LUQUE, L. (1998). Geomorfología litoral y cárstica en le Penibética malagueña. En: *Itinerarios geomorfológicos por Andalucía Oriental*, (Gómez, A., Salvador, F., Schulte, L. & García Navarro, eds.). Publicaciones de la Universidad de Barcelona, 9 – 28.
- MARTÍN SERRANO, A., MAESTRO, A., NOZAL, F., SALAZAR, A. & SUÁREZ, A. (2005). *Mapa Geomorfológico de España y del margen continental, E. 1:1.000.000*. IGME, Madrid.
- MMAMRM (Minist. Medio Ambiente, Medio Rural y Marino), (2009). *Guía de playas españolas*. http://www.mma.es/portal/secciones/aguas_marinas_litoral/guia_playas/
- OVEJERO, G. (1969). *Antiguas líneas de costa en el litoral comprendido entre Adra y Punta Culo de Perros (Almería)*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Sección Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 152 pp. (inédita).
- RED DE ESPACIOS PROTEGIDOS DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA (2007). *Ficha de declaración de Monumento Natural. Dunas de Artola o Cabopino*. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/>
- SILVA, P.G., GOY, J.L., SOMOZA, L., ZAZO, C. & BARDAJÍ, T. (1993). Landscape response to strike-slip faulting linked to collisional settings: Quaternary tectonics and basin formation in the Eastern Betics, southeastern Spain. *Tectonophysics*, 224, 289–303.
- SOMOZA, L. (1989). Estudio del Cuaternario litoral entre Cabo de Palos y Guardamar (Murcia-Alicante). *Las variaciones del nivel del mar en relación con el contexto geodinámico*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 352 pp.
- VÁZQUEZ, J.T. (2005). El margen continental del Mar de Alborán. En: *Memoria del Mapa Geomorfológico de España y del margen continental, E. 1:1.000.000* (Martín Serrano, A., ed.). IGME, Madrid, 191-198.
- WANLESS, H.R. & TEDESCO, L.P. (1993). Comparison of oolitic sand bodies generated by tidal vs. wind-wave agitation. En: *Mississippian oolites and modern analogs, AAPG Studies in Geology* (Keith, B.D. & Zuppman, C.W., eds.). American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 35, 199–225.
- ZAZO, C. (1969). *Antiguos niveles marinos Pleistocenos en el sector de costa comprendido entre El Alquíán y el Cabo de Gata (Golfo de Almería)*. Tesis de Licenciatura, Fac. Ciencias, Sección Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 143 pp. (inédita).
- ZAZO, C., GOY, J.L., SOMOZA, L., DABRIO, C.J., BELLUOMINI, G., IMPROTA, J., 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.