



2

DUNAS MARÍTIMAS Y CONTINENTALES

COORDINADOR

Francisco Javier Gracia Prieto

AUTORES

Francisco Javier Gracia Prieto, Eulalia Sanjaume, Germán Flor Rodríguez, Luis Hernández Calvento, Antonio I. Hernández Cordero y Miguel Ángel Gómez-Serrano

Esta ficha forma parte de la publicación **Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España**, promovida por la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo.

Realización y producción



Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo y Francisco Melado Morillo.

Coordinación técnica

Juan Carlos Simón Zarzoso.

Colaboradores

Presentación general: Roberto Matellanes Ferreras y Ramón Martínez Torres. Edición: Cristina Hidalgo Romero, Juan Párbole Montes, Sara Mora Vicente, Rut Sánchez de Dios, Juan García Montero, Patricia Vera Bravo, Antonio José Gil Martínez y Patricia Navarro Huercio. Asesores: Íñigo Vázquez-Dodero Estevan y Ricardo García Moral.

Diseño y maquetación

Diseño y confección de la maqueta: Marta Munguía.

Maquetación: Do-It, Soluciones Creativas.

Agradecimientos

A todos los participantes en la elaboración de las fichas por su esfuerzo, y especialmente a Antonio Camacho, Javier Gracia, Antonio Martínez Cortizas, Augusto Pérez Alberti y Fernando Valladares, por su especial dedicación y apoyo a la dirección y a la coordinación general y técnica del proyecto.

Las opiniones que se expresan en esta obra son responsabilidad de los autores y no necesariamente de la **Dirección General de Medio Natural y Política Forestal** (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

La coordinación general del grupo 2 ha sido encargada a las siguientes instituciones

Sociedad Española de Geomorfología



Universidad de Cádiz



Coordinador: Francisco Javier Gracia.

Autores: Francisco Javier Gracia, Eulalia Sanjaume, Luis Hernández Calvento, Antonio I. Hernández Cordero, Germán Flor y Miguel Ángel Gómez-Serrano.

Colaboradores: Patricio Martínez Cedrún, Germán Flor Blanco, Juan García de Lomas, Carlos García, Giorgio Anfuso, Javier Benavente y Laura del Río.

Fotografía de portada: Gran duna solitaria móvil no vegetada en la Ensenada de Valdevaqueros (Cádiz).

A efectos bibliográficos la obra completa debe citarse como sigue:

VV.AA., 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

A efectos bibliográficos esta ficha debe citarse como sigue:

GRACIA PRIETO, F. J., SANJAUME, E., HERNÁNDEZ, L., HERNÁNDEZ, A. I., FLOR, G. & GÓMEZ-SERRANO, M. Á., 2009. 2 Dunas marítimas y continentales. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 106 p.

Primera edición, 2009.

Edita: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica.
Centro de Publicaciones.

NIPO: 770-09-093-X
ISBN: 978-84-491-0911-9
Depósito legal: M-22417-2009

1. PROBLEMÁTICA	7
2. TIPOLOGÍA ECOLÓGICA ESPAÑOLA	11
2.1. Dunas atlánticas españolas	12
2.2. Dunas mediterráneas españolas	15
2.3. Síntesis de las dunas costeras españolas	16
2.4. Clasificación de las dunas costeras españolas	18
2.4.1. Metodología	18
2.4.2. Descripción de tipos de dunas costeras	19
3. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA	27
3.1. Distribución de especies vegetales en los sistemas dunares costeros españoles	27
3.2. Distribución de los tipos de hábitat de interés comunitario en los sistemas dunares	29
3.3. Factores biofísicos de control	32
3.3.1. Factores genéticos	32
3.3.2. Factores condicionantes de la dinámica y evolución del sistema dunar	40
4. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN	49
4.1. Determinación y seguimiento de la superficie	49
4.1.1. Directrices para la cartografía y seguimiento de sistemas dunares	49
4.1.2. Superficie favorable de referencia	54
4.2. Protocolo de evaluación de la estructura y función de un sistema dunar	60
4.2.1. Propuesta y descripción de factores y variables	60
4.2.2. Protocolo para la evaluación global de la estructura y función	69
4.2.3. Tipologías del estado de conservación (sistemas de referencia)	70
5. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN	73
5.1. Erosión costera acelerada	73
5.1.1. Subida del nivel del mar	73
5.1.2. Disminución de los aportes sólidos y extracciones de áridos	74
5.1.3. Alteración de los parámetros de dinámica marina por obras de ingeniería	75
5.2. Pérdida de biodiversidad	76
5.3. Fijación de dunas móviles	77
5.4. Degradación y destrucción de cordones dunares	78
5.4.1. Actividades de ocio	78
5.4.2. Urbanización	79
6. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	81
6.1. Bienes y servicios	81
6.1.1. Servicios de suministro	81

6.1.2. Servicios de regulación	81
6.1.3. Servicios de base	82
6.1.4. Servicios culturales	82
6.2. Líneas de investigación	83

7. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA	85
--	----

8. NUEVOS TIPOS DE HÁBITAT DE INTERÉS COMUNITARIO A AÑADIR AL ANEXO I	97
--	----

9. NUEVOS TIPOS DE HÁBITAT DE INTERÉS COMUNITARIO DEL ANEXO I RECONOCIBLES EN ESPAÑA	105
---	-----



1. PROBLEMÁTICA

Las dunas litorales forman parte del ambiente de transición marítimo-terrestre y tienen un papel crítico en la estabilidad de la costa. Con carácter general, los sistemas dunares son ecosistemas escasos, y actualmente sometidos a una fuerte presión antrópica. Estos sistemas destacan por la peculiaridad de su fauna y flora, adaptadas a unas condiciones edáficas extremas como pueden ser la escasa capacidad para retener agua, la escasez de nutrientes, las elevadas temperaturas superficiales, la gran movilidad del sustrato y la concentración de sales.

Los sistemas dunares representan una parte importante de los recursos costeros y su conservación tiene implicaciones naturales y sociales que no se limitan únicamente al mantenimiento de paisajes o especies vegetales y animales vulnerables. Algunas de estas implicaciones afectan a la dinámica de las playas y a su equilibrio. Dado que en la naturaleza todos los elementos se encuentran conectados o ligados, ya sea desde un punto de vista trófico o desde un punto de vista geodinámico, no es de extrañar que la degradación de los ecosistemas dunares allá donde se ha producido, haya conducido también a la erosión de las playas.

Las dunas litorales constituyen uno de los ecosistemas costeros más variados, formados por una amplia tipología de formas muy dinámicas que dan lugar a distintos tipos de hábitat de interés. Se asocian a costas bajas de carácter sedimentario, formadas por playas arenosas que les sirven de fuente de sedimento. El viento procedente del mar arrastra la arena desde la playa hacia el interior, donde es retenida por plantas pioneras que dan lugar a cúmulos arenosos incipientes o embrionarios. Conforme éstos crecen, forman cordones dunares paralelos a la línea de costa, habitualmente cubiertos por vegetación especializada. La migración diferencial de estos cordones hacia el interior da lugar a depresiones intradunares, dunas móviles, dunas fijadas por vegetación, etc. A estas diversas situaciones se asocia una amplia variedad de tipos de hábitat.

Los sistemas dunares costeros presentan una sucesión ecológica estructurada en el espacio. La propia

esencia de los sistemas dunares es su dinamismo, con transporte constante de arena y, por tanto, con enterramiento. De esta manera, existe una alta frecuencia de perturbaciones que tienden a interrumpir la marcha de la sucesión ecológica. Las perturbaciones en ecología son sucesos que rompen el equilibrio y devuelven el sistema a un estado en el que el recurso vuelve a ser abundante, generalmente con la desaparición de organismos pertenecientes a especies típicas de situaciones de equilibrio. En este caso, el movimiento eólico de arena determina una renovación constante del sustrato, a la vez que sepulta a especies de ciclo de vida largo que no pueden adaptarse.

El papel de fijación de terreno arenoso móvil y la facilitación del avance de una sucesión vegetal lo ocupan una serie de especies consideradas pioneras, características de estos medios. Las especies adaptadas a las duras condiciones de la duna se organizan así en franjas que se van estabilizando conforme se alejan de la influencia marina. Se parte de unas dunas embrionarias cerca de la orilla del mar y casi desprovistas de vida. Algo más lejos de la orilla, las condiciones se van suavizando, formándose dunas primarias (*foredunes*) y secundarias mucho más estabilizadas, conforme la vegetación se asienta, en un fenómeno recíproco de facilitación que fue puesto como ejemplo de sucesión ecológica desde los primeros estudios que la describían en ecología: el establecimiento de las especies pioneras favorece la aparición ulterior de otras especies en dunas más estables. Estas etapas finalmente conducen hacia el interior a la formación de dunas totalmente fijadas por la vegetación, incluso pobladas por bosques. Los cordones dunares son, por tanto, sistemas que comprenden especies adaptadas a las perturbaciones y otras más características de las zonas más estables en las que aumenta la diversidad y el recubrimiento.

La clasificación de dunas costeras propuesta por la Directiva de Hábitats (92/43/CEE) de la Unión Europea diferencia entre dunas atlánticas (grupo de tipos de hábitat 21) y dunas mediterráneas (grupo de tipos de hábitat 22). Los tipos de hábitat que los conforman y cuya presencia en España está reconocida oficialmente (Bartolomé *et al.*, 2005) son:

21 Dunas marítimas de las costas atlánticas, del mar del Norte y del Báltico
2110 Dunas móviles embrionarias
2120 Dunas móviles del litoral con <i>Ammophila arenaria</i> (dunas blancas)
2130 Dunas costeras fijas con vegetación herbácea (dunas grises) (*)
2150 Dunas fijas descalcificadas atlánticas (<i>Calluno-Ulicetea</i>) (*)
2190 Depresiones intradunares húmedas
22 Dunas marítimas de las costas mediterráneas
2210 Dunas fijas de litoral del <i>Crucianellion maritimae</i>
2230 Dunas con céspedes del <i>Malcomietalia</i>
2240 Dunas con céspedes del <i>Brachypodietalia</i> y de plantas anuales
2250 Dunas litorales con <i>Juniperus</i> spp. (*)
2260 Dunas con vegetación esclerófila de <i>Cisto-Lavanduletalia</i>
2270 Dunas con bosques de <i>Pinus pinea</i> y/o <i>Pinus pinaster</i> (*)

Tabla 1.1

Aunque la razón principal de la diferenciación general entre dunas atlánticas y dunas mediterráneas parece *a priori* justificada, la distribución geográfica realizada de cada uno de los tipos de hábitat objeto de estudio no se ajusta a dicha clasificación general. Así, los tipos de hábitat 2110, 2120 y 2190 se encuentran presentes en la costa mediterránea y, probablemente, podríamos asegurar sin ningún tipo de exageración, que suponen más del 80% del conjunto de las dunas costeras mediterráneas. Por otra parte, el tipo de hábitat 2270* tiene una relativa escasa representación en el Mediterráneo y, paradójicamente se ha adjudicado en exclusiva a los tipos de hábitat mediterráneos cuando presentan su mayor desarrollo y mejor estado de conservación en la costa suratlántica española. Con excepción del tipo de hábitat 2210, todos los demás (2110, 2120, 2230, 2240, 2250*, 2260 y 2270*) podrían adscribirse a ambas zonas (Atlántica y Mediterránea). Por todo ello, resulta muy cuestionable la división de los tipos de hábitat dunares costeros españoles en Atlánticos y Mediterráneos, ya que realmente no reflejan una diferenciación real y llevan a confusión. Además, como se ha indicado, en nuestra opinión resulta del todo inadecuada la asignación de los tipos de hábitat 2110 y 2120 exclusivamente al grupo atlántico y del tipo de hábitat 2270* exclusivamente al grupo Mediterráneo.

Otro problema surge con la gran diversidad de sistemas dunares costeros no vegetados, que albergan una fauna de gran interés, pero que ante la ausencia

de una cobertera vegetal continua no han sido considerados como tipo de hábitat de interés comunitario por la Directiva de Hábitats. Se trata de las dunas transversales, inversas, en domo, en estrella, barjanas, dunas parabólicas, remontantes, fósiles, residuales, etc. Algunas de ellas alcanzan un desarrollo muy espectacular en España, especialmente en sus costas atlánticas (Duna de Corrubedo, en La Coruña; Dunas de Trafalgar, Bolonia y Valdevaqueros, en Cádiz), aunque también aparecen en las costas mediterráneas (Dunas de Sant Pere Pescador, Bahía de Pals, siendo especialmente importantes en l'Altet, al sur de Alicante).

Otro aspecto que no se ha tenido en cuenta a la hora de las adscripciones son las formas eólicas erosivas. Así, las calderas de abrasión (*blowouts*), que dependiendo de su profundidad pueden alcanzar el nivel freático y tener vegetación, no han sido contempladas como tipo de hábitat de interés comunitario objeto de estudio. Por otro lado, las depresiones interdunares (tipo de hábitat 2190) sólo se han adscrito al grupo Atlántico, y prácticamente todos los conjuntos dunares mediterráneos presentan estas depresiones que se corresponden con el normal desarrollo de la duna y su relación con los flujos de aire a sotavento.

Las dunas estuarinas constituyen una modalidad digna de ser considerada de forma específica, aún cuando no tengan una representación muy numerosa ni ocupen superficies muy amplias. Se trata de

campos singulares cuya colonización vegetal se lleva a cabo por especies halófilas en las áreas bañadas por las mareas pasando paulatinamente hacia topografías más elevadas a otras especies subhalófilas e incluso dulceacuícolas.

Por otro lado, las especiales características climáticas y geomorfológicas de las Islas Canarias hacen que los sistemas dunares y, especialmente, las especies vegetales asociadas a ellos presenten unas particularidades que no se dan en los litorales europeos. La escasez de tipos de hábitat dunares de la red Natura 2000 en el archipiélago se ve compensada por la presencia de otros tipos de hábitat dunares específicos de enorme interés ecológico y no contemplados por la Directiva de Hábitats. Se trata de las dunas con *Traganum moquini*, equivalente macaronésico a la *Ammophila arenaria*, o los extensos mantos eólicos cubiertos por comunidades arbustivas específicas de la región.

Por último, hay que nombrar las dunas continentales, no ligadas directamente a medios costeros, y que no han sido incluidas en el listado de tipos de hábitat de la red Natura 2000. En España existen

diferentes tipos de dunas continentales, de entre las que destacan los espectaculares campos de dunas fijadas por pinos de la provincia de Segovia (dunas de Arévalo). La Directiva de Hábitats reconoce un conjunto de hábitat de dunas continentales (*Inland dunes, old and decalcified*), que engloba los tipos de hábitat de interés comunitario 2310, 2320, 2330 y 2340, aunque la mayoría de ellos se refieren a sistemas dunares antiguos originados en ambientes fríos; ninguno incluye dunas continentales mediterráneas fijadas por pinares. Se trata de una carencia muy importante en la Directiva de Hábitats. Sólo se contemplan las dunas fijadas por pinos en ámbitos costeros (tipo de hábitat 2270*).

En síntesis, y bajo la perspectiva de la clasificación de los tipos de hábitat que se trata en las fichas del presente proyecto, podemos hacer un intento de equivalencia entre los distintos tipos generales de dunas según criterios morfológicos y ecológicos, y los tipos de hábitat dunares diferenciados por la Directiva de Hábitat, incluyendo nuevos tipos, como las dunas estuarinas o las dunas continentales fijadas por pinos, según se muestra en la tabla 1.2.

Tipos morfológicos	Tipos ecológicos	Códigos Directiva Hábitats
Dunas embrionarias	Dunas embrionarias o primarias	2110
Dunas primarias, delanteras, antedunas, primer cordón, <i>foredunes</i>	Dunas móviles o secundarias, con <i>Ammophila arenaria</i>	2120
Depresiones interdunares	Depresiones interdunares	2190
Dunas secundarias, traseras o dunas grises	Dunas terciarias o dunas grises	2130*, 2210, 2230, 2240
Dunas terciarias, internas, fijadas por vegetación arbustiva y boscosa	Dunas costeras estabilizadas por bosque, matorral o pastizal	2150*, 2250*, 2260, 2270*
Sistemas dunares costeros no vegetados (dunas lineales, transversales, en estrella, parabólicas, barjanas, crecientes, inversas, dunas eco, de precipitación, remontrantes, etc.)	Dunas costeras móviles no vegetadas	¿?
Calderas de abrasión eólica (blowouts)	Calderas de abrasión	¿?
Dunas estuarinas	Dunas con vegetación halófila y subhalófila	¿?
Dunas primarias macaronésicas	Dunas móviles con <i>Traganum moquini</i>	¿?
Mantos eólicos costeros macaronésicos	Mantos eólicos macaronésicos	¿?
Dunas continentales fijadas por pinos	Dunas continentales estabilizadas por bosque de pinos y quejigos	¿2180?

Tabla 1.2

Equivalencias entre los distintos tipos de dunas y tipos de hábitat dunares.

2. TIPOLOGÍA ECOLÓGICA ESPAÑOLA

En Europa, la gran variabilidad de los factores que condicionan el desarrollo dunar hace que el desarrollo de las costeras sea muy desigual. En la figura 2.1 se muestra un mapa con la distribución de dunas costeras en el continente. En él se observa cómo el mayor desarrollo dunar se da en las costas atlánticas bajas de carácter sedimentario expuestas a vientos de poniente: Dinamarca, Holanda-Bélgica y Francia, y

en menor medida, Portugal y el SO de España. También las costas del Mar Báltico se caracterizan por complejos dunares importantes, especialmente en Polonia y las repúblicas bálticas, con costas igualmente orientadas al Oeste. Obviamente, los tramos predominantemente rocosos y acantilados no favorecen el desarrollo dunar (costas de Noruega, Gran Bretaña e Irlanda, Norte y NE de España).

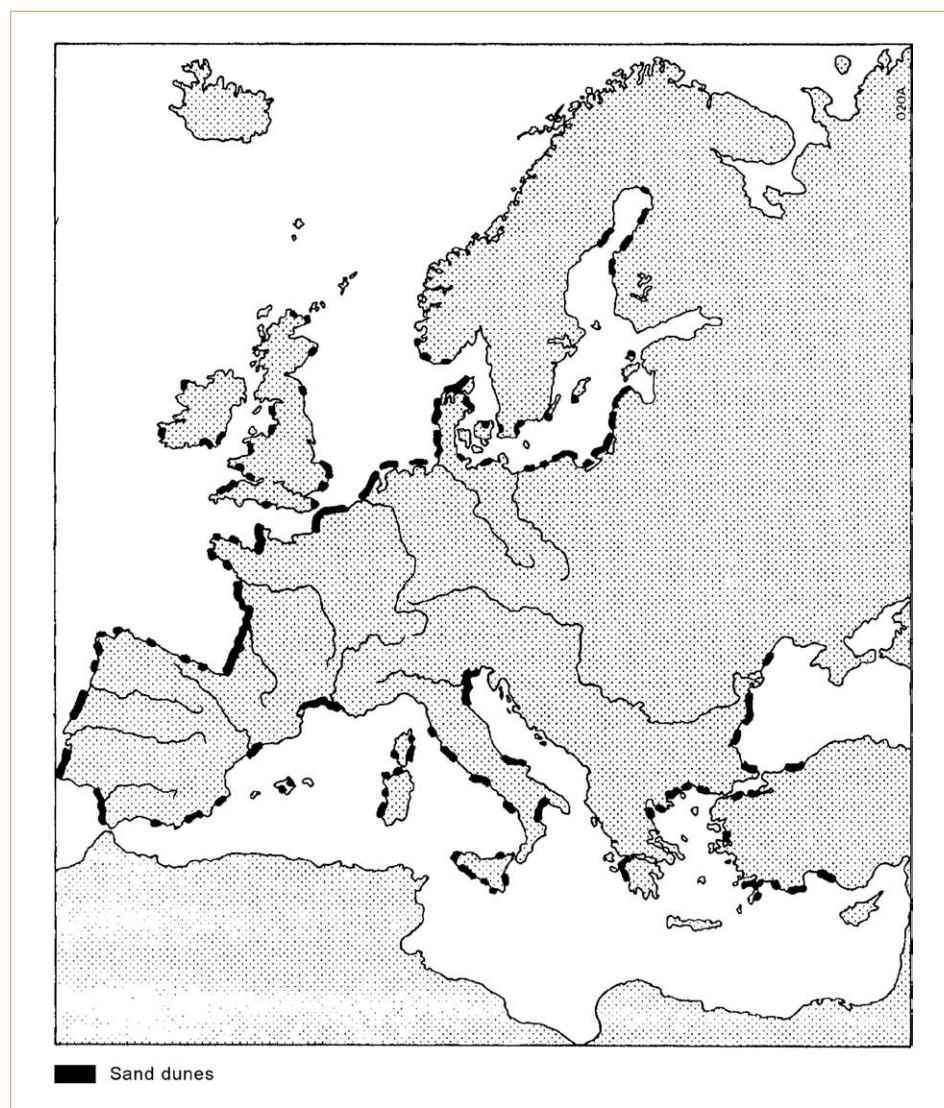


Figura 2.1
Distribución de dunas
costeras en Europa
(Géhu, 1985).

Las costas mediterráneas y del Mar Negro, sometidas a escasos rangos de marea y con aportes sedimentarios relativamente limitados, presentan edificios dunares mucho menores que los que se generan en las costas atlánticas. Las dunas mediterráneas se localizan principalmente en las inmediaciones de las principales desembocaduras fluviales (Ebro, Ródano, Po, Danubio). Sin embargo, sucede también bastante a menudo que cuencas fluviales de menor extensión determinen la existencia de campos dunares de cierta importancia (Ter, Fluvià, Llobregat, Túria, Xúquer, Vinalopó, Segura, etc.). Además, el carácter geológicamente activo de la cuenca mediterránea favorece la proliferación de tramos con acantilados y de costas rocosas (Cordilleras Béticas, Pirineos, Alpes, Apeninos, Dináridas, etc.), donde las playas tienen extensiones muy reducidas y las dunas son casi inexistentes, aunque pueden aparecer en el fondo de calas y como dunas escaladoras en algunos acantilados.

El contraste entre las dunas atlánticas y las mediterráneas no sólo consiste en una notable diferencia de desarrollo espacial. Para algunos autores, el grado de humedad del aire, los valores térmicos y su oscilación, la precipitación media anual, la intensidad del viento y los tipos de playas dominantes en unas costas y otras son muy distintos, lo que hace que morfológica y dinámicamente las dunas sean muy diferentes (Olson & Van der Maarel, 1989; Bird, 1990). Sin embargo, pensamos que en muchos casos las diferencias entre ambos grupos de dunas no son tan acusadas como se pretendía.

Probablemente, la aceptación de las diferencias presentadas por los autores citados anteriormente y el seguimiento de criterios biológicos, es la razón por la que el grupo de tipos de hábitat número 2 de la red Natura 2000, "Dunas marítimas y continentales", se encuentra dividido en dos grandes conjuntos:

- 21 Dunas marítimas de las costas atlánticas, del mar del Norte y del Báltico.
- 22 Dunas marítimas de las costas mediterráneas.

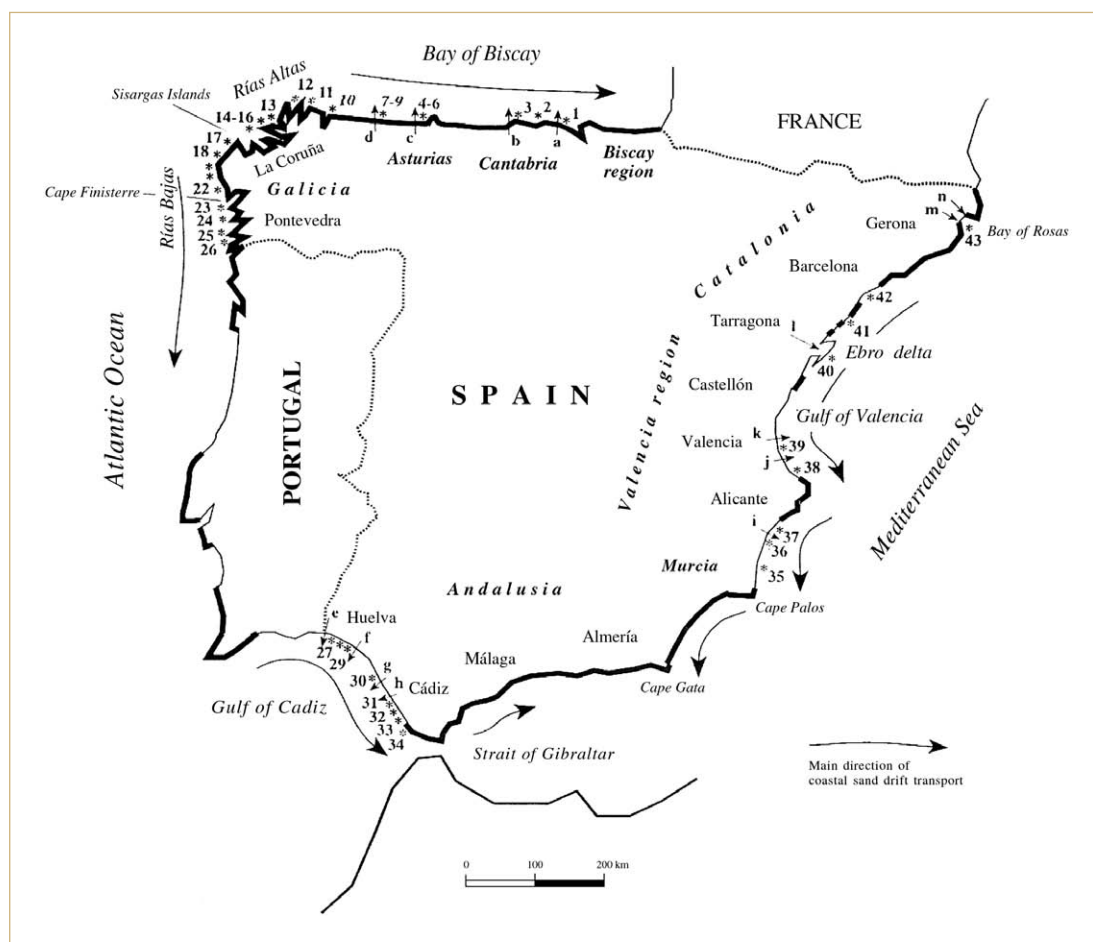
No obstante, varios de los tipos de hábitat de interés comunitario diferenciados en cada uno de estos dos grandes conjuntos aparecen en ambos ámbitos geográficos. Sin embargo, sin razón científica clara, por lo menos a nuestro entender, algunos tipos de hábitat sólo han sido asignados a uno de los dos grandes grupos.

En España existe una gran variedad de sistemas dunares costeros, ligados a la existencia de amplias porciones de costas bajas alimentadas por grandes ríos que aportan importantes cantidades de arenas siliciclásticas: básicamente, Golfo de Cádiz, provincia de Valencia y Delta del Ebro. La franja costera es capaz de aportar otro componente mineralógico: los fragmentos carbonatados, que se introducen desde el propio ámbito marino a través de los diferentes subambientes de transición: acantilados, playas mareales (intermareal inferior y submareal) y no mareales (zona sumergida), estuarios, plataforma continental interna, etc. En algunos segmentos litorales, la gran aportación biogénica, que excede a la siliciclástica, ha sido capaz de suministrar arena gruesa para la formación de depósitos dunares activos (Aguilera o Carniciega y Tenrero, en Verdicio, Asturias) o inactivos, como eolianitas en Tenrero y Górliz (Plencia, Vizcaya). Además, interesa separar las dunas abiertas, que son las más numerosas en todas las costas, y las dunas estuarinas, generadas en el interior de estos ambientes, como las que se han generado en Navia, Villaviciosa, San Vicente de la Barquera, San Martín de la Arena (Besaya), Pas y Asón, así como en otros estuarios menores, como Niembro en Asturias y Galizano y Quejo, en Cantabria.

Las corrientes costeras distribuyen todos estos aportes longitudinalmente dando lugar a un elevado número de playas con dunas, tanto en la costa atlántica como en la mediterránea (ver figura 2.2). El resto de la costa española es mayoritariamente acantilada, aunque existen muchos tramos arenosos de pequeña extensión. Las playas en bolsillo, algunas de apenas 1 km de longitud, son muy frecuentes a lo largo de toda la costa española. Por todo ello, las dunas costeras en España varían considerablemente en geometría y dimensiones, habitualmente relacionadas con el tipo de playa al que se asocian, ya se trate de playas amplias, mesomareales (costa atlántica), o estrechas, de grano grueso y sin mareas (costa mediterránea).

2.1. DUNAS ATLÁNTICAS ESPAÑOLAS

En el **litoral noratlántico**, existen numerosos ríos responsables de la formación de amplios campos dunares costeros, bien sea de forma directa, como son los casos de las dunas de Laredo-El Puntal por el río Asón, las de Oriñón por el Agüera, Lieres



Las flechas pequeñas y las letras representan las principales desembocaduras fluviales.- a: Asón, b: Pas, c: Nalón, e: Guadiana, f: Tinto y Odiel, g: Guadalquivir, h: Guadalete, i: Segura, j: Júcar, k: Turia, l: Ebro, m: Ter, y n: Fluvia. Las flechas grandes señalan las principales direcciones de transporte costero de arena por corrientes longitudinales (deriva litoral). Sistemas dunares.- 1: Laredo; 2: Somo; 3: Liencres; 4-6: Xagó, Salinas y Bayas; 7-9: Barayo, Frejulfe y Navia; 10: Vivero; 11: Barquero; 12: Ortigueira; 13: Cedeira; 14: Frouxeira; 15: San Jorge; 16: Doniños; 17: Baldayo; 18: Lage y Daloris; 19: Traba; 20: Trece; 21: Basoñas; 22: Rostro; 23: Carnota; 24: Corrubedo; 25: La Lanzada; 26: Samil; 27: Isla Cristina; 28: El Rompido; 29: Punta Umbria; 30: Doñana; 31: Punta Candor, La Victoria, El Chato y Sancti Petri; 32: La Barrosa, El Palmar; 33: Trafalgar y Barbate; 34: Bolonia, Valdevaqueros, Los Lances; 35: La Manga; 36: Guardamar; 37: Pinet-Santa Pola; 38: Cullera y Gandia; 39: La Dehesa y El Saler; 40: Delta del Ebro; 41: Torredembarra; 42: Castelldefels; 43: Alto y Bajo Ampurdán, Bahía de Rosas.

Figura 2.2

Distribución de las costas sedimentarias (tramos blancos) y costas rocosas (tramos negros) en el litoral peninsular, así como de los principales sistemas dunares costeros (números) (Flor, 1998).

por el Pas y por el cercano Besaya, o indirectamente, después de transportes costeros relativamente dilatados, como los campos de Merón-San Vicente de la Barquera y Oyambre, procedentes de los ríos Deva-Cares y Nansa o los amplios campos de Ris-Trengandín en Noja procedentes del río (estuario) de Ajo. Lo mismo cabe decir de Asturias, donde por una influencia directa se han formado los del Navia en la barrera de su estuario e, indirectamente, los situados al E de Frejulfe, Barayo y Otur. También los de Quebrantos por el Nalón y los más alejados

de Bayas, Salinas y Xagó, así como en Verdicio (importante eolianita en la playa de Tenrero). Otros como los de Rodiles por el ahuecamiento del estuario de Villaviciosa, que ha generado numerosos campos dunares estuarinos fijados con vegetación halofítica, el de Santa Marina por el Sella (totalmente urbanizado), etc.

Este hecho es menos notorio en el sector litoral comprendido entre el occidente de Asturias y Estaca de Bares, pero no cabe duda que los reducidos

campos dunares tienen su origen gracias a la presencia de alguna desembocadura relativamente próxima en su costado, generalmente, occidental. Así las rías del Barqueiro y Viveiro, más próximas a estuarios que a rías verdaderas, como son las restantes Altas de Ortigueira y Cedeira, han aportado sedimento excedentario para la formación de campos dunares en sus propias barreras confinantes (Area Longa y Covas, respectivamente) y otros campos ligados a playas cercanas, generalmente a ambos costados, occidental y oriental. Así, la del Barqueiro permite la formación de las dunas de Bares al O y las de Vicedo, Xilloy y San Román al E. La de Viveiro, al O la de Abrela, y al E las de Area o Penal, Esteiro (Xove), Lago (San Ciprián), etc. La red fluvial de entidad costera determina aportes reducidos y, consecuentemente, campos dunares muy pequeños, algunos formando parte de las barreras confinantes, como la de Altar gracias al estuario de Foz (restaurada hace una decena de años después de la escollerización de la barrera), o la de Pampillosa, recreada después de la canalización del estuario del Ouro, o al E de estos sistema fluviales, como la de Llás por el Ouro y San Miguel de Reinante por el río Masma.

En las costas vascas, las aportaciones sedimentarias fluviales al borde litoral han sido muy escasas, de manera que en la mayor parte de los casos, los campos dunares están estrechamente ligados a las desembocaduras: Górliz con relación al río en Plencia (una interesante eolianita), Laga en el estuario de Guernica (actualmente realimentada y en fase de crecimiento gracias a la colocación de captadores), y los muy degradados de Ondárroa, Deba, Santiago (Zumaya), Zarauz, Orio, etc.

Las Rías Altas gallegas del área oriental incluyen varios campos dunares más o menos extensos: Vivero, Barquero, Ortigueira y Cedeira, alguno de los cuales se han referido anteriormente. El complejo de rías de Ferrol, Betanzos y La Coruña, que comparten la misma desembocadura, contiene campos dunares menores en sus zonas internas (estuarios de Puente deume, Betanzos y Santa Cristina), y extensos campos eólicos, mucho más importantes hacia el Este (Doniños, San Jorge, Frouxeira) y también al Oeste (Baldayo). Entre las Islas Sisargas (NO de Malpica) y el Cabo de Finisterre, diversos estuarios de tamaños contrastados y lagunas costeras contienen numerosos campos dunares: Lage, Traba, Trece, Basoñas, Rostro, etc. En la costa expuesta del sur de

Galicia (Rías Bajas), en los interfluvios entre rías, se han desarrollado los campos de dunas más extensos: Carnota, Corrubedo, La Lanzada y Samil.

En el Golfo de Cádiz, las costas sedimentarias de Huelva y el oeste de la provincia de Cádiz se alimentan en primer lugar de sedimentos aportados por el río Guadiana, que genera uno de los campos dunares más extensos y continuos que existen en España: Isla Cristina, El Rompido y Punta Umbría. El sistema fluvial doble de los ríos Tinto y Odiel (Estuario de Huelva), ayudado de la deriva litoral dominante hacia el este y también de la intensa erosión que sufren los acantilados arenosos de Mazagón-Matalascañas, da lugar al sistema dunar costero probablemente más extenso y activo de Europa, en el Parque Nacional de Doñana. Estas dunas ocupan la barrera arenosa que cierra el estuario del río Guadalquivir. Este río, junto con el Guadalete (Bahía de Cádiz) aporta un importante volumen de arenas que alimentan a los numerosos campos dunares que se desarrollan a lo largo del litoral gaditano (Punta Candor, La Victoria-El Chato, Sancti Petri, La Barrosa, El Palmar-Castilnovo, Zahora). Los pequeños ríos béticos que alimentan a las costas del Estrecho de Gibraltar dan lugar a sistemas dunares costeros puntuales pero espectaculares, especialmente los ligados a la acción de los fuertes vientos de levante: Trafalgar, Barbate, Zahara, Bolonia, Valdevaqueros y Los Lances (Tarifa).

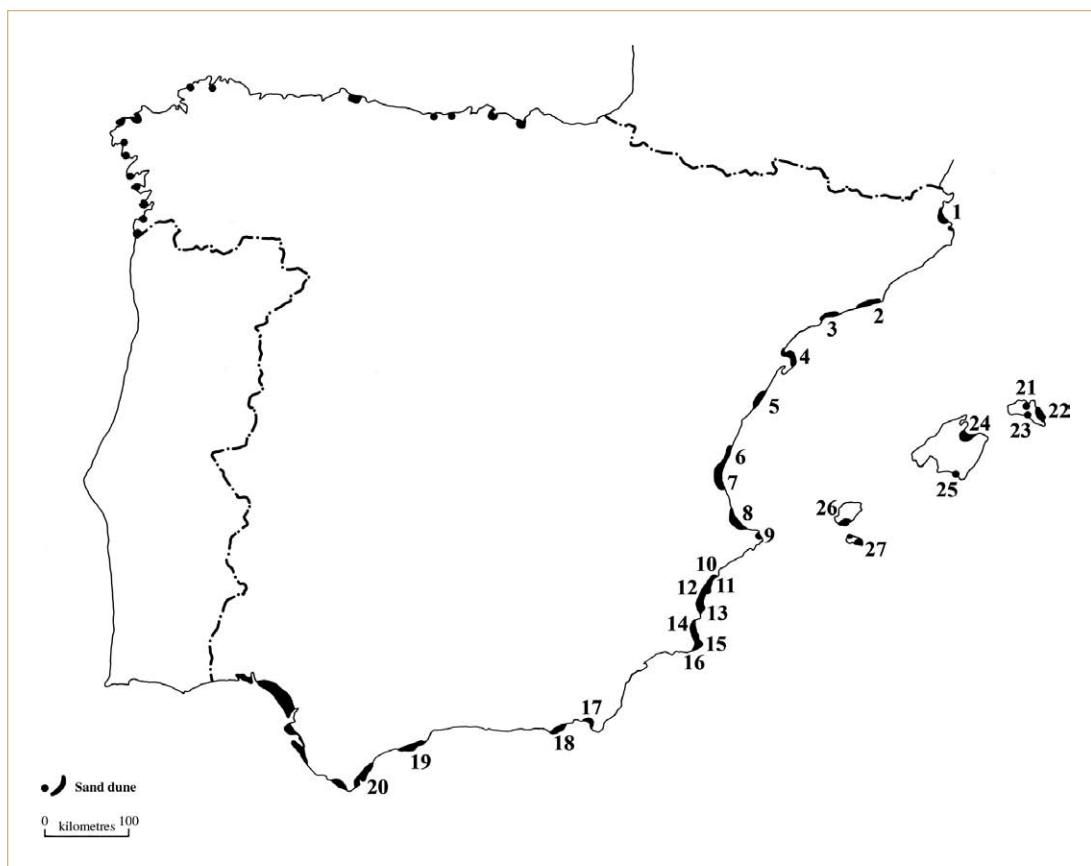
Las Islas Canarias presentan costas predominantemente acantiladas, derivadas del crecimiento de edificios volcánicos durante el Cuaternario. Los aportes sedimentarios ligados a los principales cursos fluviales son escasos, a excepción de las islas mayores (Gran Canaria y Tenerife), donde éstos alcanzan mayores dimensiones. De este modo, las principales playas y dunas aparecen en estas islas, especialmente en sus litorales meridionales, debido al transporte litoral dominante hacia el Sur, ligado al predominio de vientos de componente Norte (alisios). Es el caso de las dunas de Maspalomas, uno de los sistemas dunares más extensos del territorio español. Otro de los factores importantes en la generación dunar en Canarias está relacionado con el grado de aridez ambiental y con los aportes sedimentarios eólicos desde la costa occidental africana. Eso hace que las islas más orientales (especialmente Fuerteventura, aunque también Lanzarote y La Graciosa), presenten buenos sistemas dunares, algunos de ellos muy dinámicos (Jandía, Corralejo).

2.2. DUNAS MEDITERRÁNEAS ESPAÑOLAS

En el litoral mediterráneo, pese a la enorme presión antrópica que han experimentado y siguen experimentando los ámbitos dunares, las dunas están presentes en casi todas las costas bajas de acumulación (ver figura 2.3). La mayor parte de estas dunas están asociadas con las desembocaduras fluviales de los ríos y ramblas mediterráneas más importantes (Fluvià, Ter, Llobregat, Ebro, Túrria, Xúquer, Segura y Andarax, entre otros) que transportan grandes cantidades de arena. En otras ramblas mediterráneas, donde en la carga sólida predomina la fracción gruesa tipo canto, las dunas no pueden formarse debido a la escasez

de arena. Llama la atención, sin embargo que no haya dunas en las inmediaciones de la desembocadura del Xúquer, pese a ser uno de los ríos más importantes que desembocan en la vertiente mediterránea.

Aunque podría pensarse que las dunas existieron en el pasado y que han desaparecido por la gran recesión que experimentan las playas entre Cullera y Gandía, lo cierto es que no pensamos que esta sea la única explicación. Quedan algunos restos eólicos en las partes más internas de la *backbarrier* de la albufera de Cullera-Tavernes y microacantilados arenosos que son restos de las dunas más recientes en la zona del Brosquil de Cullera, pero en absoluto comparables con el volumen de las dunas del Saler



Leyenda: 1: Aiguamolls de l'Emporda-Sant Pere Pescador y Bahía de Pals en Gerona; 2: Castelldefels en Barcelona; 3: Creixell-Torredembarra en Tarragona; 4: L'Ampolla-Delta del Ebro, también en la provincia de Tarragona; 5: Torre la Sal, con dunas fósiles en Castellón; 6: Canet en Valencia; 7: Devesa del Saler-Marenys de Cullera (Valencia); 8: Oliva-Pego, al sur de la provincia de Valencia; 9: Xàbia-lfac-Serra Gelada (Alicante), con presencia de dunas fósiles; 10: Urbanova-L'Altet-Clot de Galvany en Alicante; 11: Salinas de Santa Pola-Salinas del Pinet-La Marina (Alicante); 12: El Rebollo-Guardamar del Segura, provincia de Alicante; 13: El Moncayo-Torrelamata en Alicante; 14: Pilar de la Horadada, límite meridional de Alicante; 15: San Pedro del Pinatar-Cabo de Palos en Murcia; 16: Calblanque (Murcia); 17: Cabo de Gata en Almería; 18: Punta Entinas-El Sabinar (Almería); 19: Dunas de Artola o Cabopino, en Marbella (Málaga); 20: Torreguadiaro-La Línea (Cádiz); 21: Arenal de Tirant en la isla de Menorca; 22: Es Grau (Menorca); 23: Son Bou (Menorca); 24: Bahía Alcudia de la isla de Mallorca; 25: Ses Salines de Mallorca; 26: Ses Salines-Es Codolar de la isla de Ibiza; 27: Formentera.

Figura 2.3

Localización de las dunas mediterráneas.

o de la zona de Pego-Oliva. La razón de este déficit de dunas al sur de la desembocadura del Xúquer, además del acelerado retroceso costero, hay que buscarla probablemente en el tipo de llanura aluvial del propio Xúquer. Se trata de una llanura aluvial convexa, por lo que prácticamente todos sus sedimentos quedan retenidos en la propia llanura, sobrelevándola después de cada inundación.

Por el contrario, los ríos con una llanura de inundación plana, como el Túría y el Segura, o con deltas que previamente fueron excedentarios (Llobregat, Ebro, etc.) si tienen campos dunares asociados. El caso de las Islas Baleares es totalmente diferente, ya que los suministros de sedimentos fluviales continentales son muy limitados y las dunas se alimentan de la erosión de dunas fósiles pleistocenas y de aportes bioclásticos procedentes de la playa sumergida.

Las dunas mediterráneas, según hemos estudiado en la mitad meridional del óvalo de Valencia, presentan un modelo de formación y evolución que se repite en distintas zonas. El modelo está relacionado con la evolución de las restingas —que cerraron las albuferas holocenas tan abundantes en este sector— y a las posibilidades de suministro, ligadas a su vez con condiciones climáticas que favorezcan o no las crecidas fluviales periódicas y, en consecuencia, un mayor aporte de sedimentos al mar. De acuerdo con este modelo (Sanjaume & Pardo, 2007), en un primer momento se desarrolla una restinga, (que ahora forma parte de la zona más interna de la restinga actual), con edificios dunares más o menos conservados y que, en muchas ocasiones, presentan las máximas elevaciones. Las dunas de esta zona se corresponderían con una fase de gran aporte de sedimentos que podría datarse, según indicios geoarqueológicos, en la época romana (Sanjaume & Carmona, 1995). Después de ese máximo sedimentario se produciría un período con menor cantidad de aportes, quizá en época visigótica, en el que la costa tuvo suficientes sedimentos para seguir progradando pero sin superávit suficiente como para formar dunas. Posteriormente, se produce un nuevo máximo sedimentario, posiblemente en la época musulmana, que continuará con la progradación de la playa y con un excedente sedimentario suficiente para continuar con la formación de las dunas de la restinga externa. Estos máximos sedimentarios están ligados con los períodos históricos en los que las crecidas del Túría fueron más abundantes (Sanjaume & Carmona, 1995). Ade-

más, gracias a la proximidad de las aguas freáticas, en la parte central de la restinga sin dunas se produce un ámbito con características de mayor humedad. Este modelo geomorfológico pone de relieve que toda la zona ha sido predominantemente de acumulación y progradación durante el Holoceno, especialmente en época histórica. Llama la atención que un esquema muy similar al que acabamos de describir se ha desarrollado también para explicar la evolución de las dunas de SW de Francia (Bressolier *et al.*, 1990).

2.3. SÍNTESIS DE LAS DUNAS COSTERAS ESPAÑOLAS

Para tener una visión de conjunto sobre la potencialidad de existencia de formaciones dunares en las costas peninsulares, la tabla 2.1. muestra el porcentaje de costa ocupada por playas arenosas en el conjunto costero español. Este dato es interesante puesto que son las playas arenosas las que desarrollan dunas litorales. Se aprecia cómo el valor es bastante similar en las costas atlántica y mediterránea. No obstante, el reparto en ambas regiones es diferente, ya que si bien a lo largo de la costa mediterránea las playas se alternan frecuentemente con los acantilados, en el litoral atlántico éstas se concentran fundamentalmente en el Golfo de Cádiz. Por otro lado, el conjunto de costas atlánticas, incluyendo las del archipiélago canario, supone cerca de 5.000 km, cuyo porcentaje de playas sería próximo al 20% debido a la proliferación de tramos acantilados en las Islas Canarias.

A nivel nacional (ver tabla 2.2) las mayores extensiones de playas se concentran fundamentalmente en las comunidades de Andalucía (básicamente en su fachada atlántica), Galicia, Cataluña, Valencia y Canarias. Sin embargo, si se analizan los porcentajes de playas de arena sobre el total de la costa, las mayores proporciones de playa de arena corresponden a Andalucía, Cataluña, Valencia y Murcia. Estas estadísticas tampoco reflejan la proporción de dunas en cada uno de los ámbitos analizados. Si bien es cierto que todas las dunas arenas pueden potencialmente tener dunas, eso no ocurre en buena parte de dichas playas, bien por las agresiones antrópicas experimentadas (especialmente desaparecidas bajo la fiebre urbanizadora y de infraestructuras playeras) o por no haber tenido suficiente suministro arenoso.

Región	Total km lineales de costa	N.º km de playas de arena	% de playas de arena
Atlántica peninsular	3.110	662,8	21,3
Macaronésica	1.545	115,9	7,5
Mediterránea	3.227	787	24,4

Tabla 2.1

Extensión de las playas de arena en las tres grandes regiones costeras españolas (modificado de MOPU, 1989).

Aunque el porcentaje de costa potencialmente ocupado por dunas es bastante similar en las costas atlántica y mediterránea (ver tabla 2.1), el grado de conservación de los primitivos edificios dunares es muy desigual y en la actualidad no se corresponde con la extensión de playas. En ese sentido, los datos que ofrece la DGCN (1999) son de gran interés (ver tabla 2.3). La superficie, en hectáreas, ocupada por las dunas en la costa mediterránea es muy superior al

resto de las costas peninsulares e insulares. Aunque los conjuntos dunares más importantes (ver figura 2.3) se localizan en Almería (Cabo de Gata-Punta Entinas-El Sabinar) y Tarragona (delta del Ebro), así como, en menor medida, la zona de Els Aiguamolls de l'Empordà (Girona) y la Devesa del Saler (Valencia), por la continuidad de sus dunas, tanto fósiles como activas, destaca la costa alicantina (sobre todo, desde L'Altet hasta El Pilar de la Horadada).

Comunidad Autónoma	Total km lineales de costa	Nº km de playas de arena	% de playas de arena sobre el total
País Vasco	256	25,8	10,1
Cantabria	283	46,7	16,5
Asturias	497	43,7	8,8
Galicia	1.720	266,6	15,5
Andalucía	917	472,3	51,5
Murcia	252	90,5	35,9
Valencia	474	175,4	37,0
Cataluña	597	243,0	40,7
Baleares	1.342	85,9	6,4
Canarias	1.545	115,9	7,5
TOTAL	7.883	1.568,7	19,9

Tabla 2.2

Extensión de las playas de arena en las costas de las comunidades autónomas (MOPU, 1989).

Por otra parte, la tabla 2.3, mediante un índice de naturalidad sencillo, ofrece una visión de conjunto sobre su estado de conservación. Se puede observar como desgraciadamente los campos dunares de la región Mediterránea son los tipos de hábitat más degradados, ya que tan sólo un 24,5% de los mismos se califican como relativamente bien conservados. En la actualidad, apenas un 42% del patrimonio costero español es natural (Barragán, 2004). El resto ha desaparecido por el retroceso costero acelerado por acciones antrópicas sobre el conjunto del sistema litoral o bien han sido destruidas directamente por urbaniza-

ción (edificaciones, paseos marítimos, carreteras, aparcamientos, etc). Esta mala conservación, aunque en algunos ámbitos se han desarrollado con relativo éxito programas de regeneración dunar, es muy preocupante puesto que si las dunas no pueden mantener su funcionalidad como elemento que mantiene el equilibrio sedimentario de la playa, el retroceso costero será en el futuro todavía más acusado. Todo ello sin contar con que desaparecería la mejor protección costera ante la subida del nivel del mar como consecuencia del cambio climático que son las dunas litorales (Sanjaume & Pardo, 1991b).

Región	Superficie (has.)	Naturalidad baja	Naturalidad media	Naturalidad alta
Atlántica	2.227	15,1	34,9	49,8
Macaronésica	4.770	1,6	22,7	75,8
Mediterránea	38.599	39,8	35,7	24,5

Tabla 2.3

Índice de Naturalidad de los tipos de hábitat del “Grupo 2 – Dunas marítimas y continentales”, identificados en la Directiva 92/43/CEE (DGCN, 1999).

Por otro lado, las dunas de la costa atlántica peninsular tienen su mayor desarrollo en el litoral suroccidental. El complejo dunar más extenso y mejor conservado se encuentra en el Parque Nacional de Doñana. Dicho sistema dunar, así como otros de la costa suroeste, pueden verse amenazados en un futuro como consecuencia de un cambio climático hacia condiciones más cálidas y secas, que llevaría acompañado una subida del nivel del mar. Van Huis (1989) analizó el posible impacto del cambio climático previsible con las actuales tendencias sobre el sistema dunar de Doñana. Dicho cambio se manifestaría en una ampliación de la estación seca (ligado a un ascenso térmico de 4 °C, no compensado por un supuesto incremento en la precipitación), un descenso del 60% de la humedad del suelo, que llevaría a sequía extrema, y un aumento de la evaporación potencial, con 0,5 mm/día durante los meses de invierno. Estas condiciones climáticas, parecidas a las que actualmente se registran en el norte de Libia, tendrían consecuencias geomorfológicas y ecológicas directas sobre los sistemas dunares.

Un aumento de la sequía, combinado con un ascenso del nivel del mar de unos 100 cm en el presente siglo daría lugar a mayor erosión costera y a un aumento del transporte longitudinal de arena por las corrientes marinas. Esto podría derivar en una sustitución de las actuales especies vegetales por otras de afinidad mediterránea, más tolerantes ante el estrés hídrico que las especies oceánicas. El comienzo temprano del período de sequía (en torno a abril) afectaría al crecimiento de las plantas y por lo tanto a la sucesión vegetal de los complejos dunares. Una mayor evapotranspiración, especialmente en el caso de los pinares mediterráneos, llevaría a un descenso del nivel freático ya un déficit hídrico en el suelo. Los bosques se reducirían en tamaño y habría una disminución general de la cobertura vegetal y de la fertilidad de los suelos, y la dificultad de fijación de las arenas eólicas y de las dunas móviles conducirían

a la desertificación de la zona de dunas. Los procesos geomorfológicos se harían más activos a expensas de una reducción importante de la cobertura vegetal. En otras zonas litorales peninsulares, como la costa valenciana, los edificios dunares se verían amenazados por un incremento de la erosión costera asociado a la subida del nivel del mar (Sanjaume & Pardo, 1989).

2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS DUNAS COSTERAS ESPAÑOLAS

2.4.1. Metodología

El estudio de las dunas puede enfocarse desde distintas perspectivas que, partiendo desde distintas ciencias, tienen que ser necesariamente confluyentes para comprender mejor su auténtico desarrollo ecológico. Tradicionalmente han existido dos grupos básicos de estudios, los realizados desde la geomorfología, con especial atención a los procesos abióticos, y los procedentes de la biología, que se ha preocupado de los aspectos bióticos.

Dado el carácter dinámico de las dunas, son muy abundantes las clasificaciones dunares basadas en criterios geomorfológicos, tanto descriptivos (Nordstrom *et al.*, 1990) como evolutivos (Short & Hesp, 1982; Hesp, 2002), combinados con el grado de control de la cobertura vegetal. Las tipologías de dunas más ampliamente aceptadas son las definidas en ambientes desérticos, en gran parte debido a que su geometría adquiere formas más nítidas y espectaculares (McKee, 1966; Cooke & Warren, 1973; Fryberger, 1979; Lancaster, 1988). Su nomenclatura y tipología ha sido adaptada a ambientes costeros húmedos o áridos, aunque también se han definidos nuevos tipos específicamente litorales (Cooper, 1958; Bird, 1965; Bigarella, 1975; Goldsmith, 1989; Hesp, 1988, 1989).

Por su parte, las clasificaciones de índole puramente biológica se basan en las sucesivas asociaciones vegetales y cinturones de vegetación que se suceden de mar a tierra. Se diferencian así distintos tipos de hábitat según las especies vegetales más características, que a menudo coinciden con situaciones geomorfológicas particulares. Las clasificaciones ecológicas habitualmente se basan en criterios taxonómicos sin tener en cuenta, normalmente, factores biofísicos como la topografía, la humedad del sustrato o la exposición al viento, los cuales evidentemente influyen en el desarrollo o en la preponderancia de un tipo u otro de taxón.

Algunos de los principales métodos para el análisis de las dunas litorales serían los siguientes:

■ Trabajo de campo:

- Caracterización de tipo y tamaño de las dunas.
- Delimitación espacial de los campos dunares.
- Discriminación entre formas de acumulación y formas de erosión.
- Génesis y evolución de las formas de acumulación (dunas).
- Génesis y evolución de las formas de erosión (depresiones interdunares y calderas de abrasión).
- Colocación de trampas sedimentarias para calcular tasas de transporte.
- Trabajos de protección de las dunas, si hiciera falta.
- Trabajos de regeneración dunar.

■ Trabajo de gabinete:

- Análisis de fotos aéreas.
- Plasmación cartográfica de los trabajos de campo.
- Estudio detallado del régimen de vientos de la zona.
- Características climáticas (temperatura, precipitaciones, humedad atmosférica).
- Realización de Modelos Digitales de Terreno.

■ Estudio de la cubierta vegetal:

- Identificación de especies vegetales y asociaciones principales.
- Diferenciación de hábitat contiguos.
- Seguimiento de las poblaciones.

■ Análisis de otros factores bióticos:

- Análisis de fauna.
- Estudio de suelos

2.4.2. Descripción de tipos de dunas costeras

Hasta que no se consiga una clasificación ecológica unificada en la que se tenga en cuenta tanto los aspectos bióticos como los abióticos que forman parte de la génesis, desarrollo y evolución de las dunas, la descripción de los tipos de dunas mediterráneas tiene necesariamente que hacerse partiendo de las clasificaciones que se han confeccionado hasta ahora. Estas clasificaciones se han realizado desde perspectivas geomorfológicas o biológicas, por lo que han utilizado sólo este tipo de criterios que son los que se usarán en este estudio. Pensamos que el presente estudio podría ser un buen instrumento para conseguir una clasificación ecológica consensuada contemplando todos los criterios, ya que todos somos conscientes de la íntima interrelación entre los procesos abióticos y bióticos para lograr la formación y desarrollo de las dunas litorales. Sin embargo, contemplamos con estupor cómo algunos tipos de dunas (que por su movilidad no presentan cobertera vegetal) han quedado totalmente fuera de este estudio. Desde aquí hacemos una llamada para que se reconsidere esta situación y se puedan corregir las deficiencias que se pondrán al descubierto con los trabajos de todos los colaboradores de este proyecto.

2.4.2.1. Clasificación morfológica de las dunas costeras

Las clasificaciones morfológicas han sido muchas y variadas, dependiendo de la formación profesional del autor de la misma y del ámbito geográfico en el que se han realizado los estudios. No es lo mismo una clasificación atendiendo la forma de las dunas desérticas, que la morfología que puede darse en zonas litorales, pese a las muchas similitudes existentes entre los procesos que actúan en ambas zonas. Pero tampoco es igual la morfología dunar en las costas australianas (en donde el ingente aprovisionamiento arenoso procedente de la plataforma continental determina unas formas de precipitación muy importantes) que en otros ámbitos de los Estados Unidos o de Europa en donde el suministro

de sedimentos tiene principalmente una componente longitudinal (gracias a la acción de las corrientes de deriva). Con todo, vamos a presentar las clasificaciones geomorfológicas que, a nuestro juicio, se ajustan mejor para definir las formas presentes en las dunas mediterráneas españolas.

Goldsmith (1985) realizó una clasificación específica de dunas costeras, diferenciando los siguientes tipos:

■ Vegetadas: son las que están fijadas por la vegetación. Pueden subdividirse en varios tipos:

- Embrionarias (*embryo dunes*, *shadow dunes*).
- Delanteras (*foredunes*). Según Hesp (1984) hay dos tipos principales de dunas delanteras, las dunas incipientes (*shadow dunes*) y las dunas estabilizadas (colonizadas por vegetación), estas últimas muchas veces procedentes de dunas incipientes que han sido colonizadas por la vegetación.
- Transversales: perpendiculares al viento dominante.
- Barjanas: forma de media luna, con alas desarrolladas a sotavento.
- Parabólicas: por formación de una caldera de abrasión, las alas quedan a barlovento.
- Inversas: presentan ambos lados con la misma inclinación por actuación de vientos en direcciones contrapuestas.
- De precipitación: móviles que precipitan aterrando carreteras o pueblos.

■ Dunas inducidas artificialmente: son las que se generan de modo artificial a partir de empalizadas con vegetación fijadora, etc.

■ Lunettes: se forman con material fino (limo y arcilla) en los bordes de lagos secos, salinas, etc.

■ Eolianitas: son dunas en las que predominan las arenas carbonatadas y que generalmente se encuentran cementadas.

■ La topografía modifica el flujo de aire y el transporte de arena y puede, por tanto, influir en el desarrollo dunar. Este factor genera, por su parte, una serie de tipologías dunares:

- Dunas escaladoras (*climbing dunes*): se desarrollan cuando un viento cargado de arena o una duna migratoria se encuentra con una barrera topográfica (colina, cantil, paleoacantilado marino, etc.).

- Dunas colgadas (*cliff-top dunes*): son dunas que ascienden por los acantilados y que, en ocasiones, pueden encontrarse en la parte culminante de los mismos.

- Dunas descendentes (*falling dunes*): se forman cuando las dunas remontantes llegan a la superficie culminante del acantilado, la arena es transportada a través del mismo y descienden posteriormente por la otra ladera de sotavento del acantilado.

- Dunas eco: se generan cerca de una barrera topográfica, como un montículo alargado culminado por una cresta más o menos lineal, en la dirección de la misma, dejando una superficie de no sedimentación entre duna y obstáculo, y se deben a células de flujo inverso de aire y ondas de oscilación a sotavento.

- Dunas envolventes (*wrap around dunes*): parecidas a las anteriores y rodeando un obstáculo de modo que su geometría en planta se adapta a la de aquél.

2.4.2.2. Clasificación morfo-biológica de las dunas costeras mediterráneas

Costa (1987) señala que la vegetación costera está adaptada a la salinidad y a la abrasión eólica y a la inestabilidad del sustrato. Realizando un transecto de una playa mediterránea que conservara su estructura original (como la Devesa del Saler antes de su alteración) encontraríamos la siguiente zonación (ver figura 2.4):

1. **Dunas pioneras**, son las primeras que se forman al tropezar la arena con algún obstáculo; en ellas se desarrolla una comunidad (*Agropyretum mediterraneum*) dominada por *Elymus farctus*. Por delante de estas comunidades, hacia el mar, se desarrolla una vegetación halonitrófila sobre los desechos marinos acumulados, caracterizados por la presencia de especies como *Cakile maritima* y *Salsola kali* (*Salsola-Cakiletum aegyptiacae*).
2. **Dunas móviles** ya desarrolladas en las que se localiza una comunidad (*Medicago-Ammophiletum arundinaceae*), dominada por el barrón (*Ammophila arenaria* ssp. *arundinacea*) acompañado de otras plantas como la zanahoria marina (*Echinophora spinosa*), el cardo marino (*Eryngium maritimum*), la campanilla marina (*Calystegia soldanella*) y el melgo marí (*Medicago marina*), entre otros elementos.

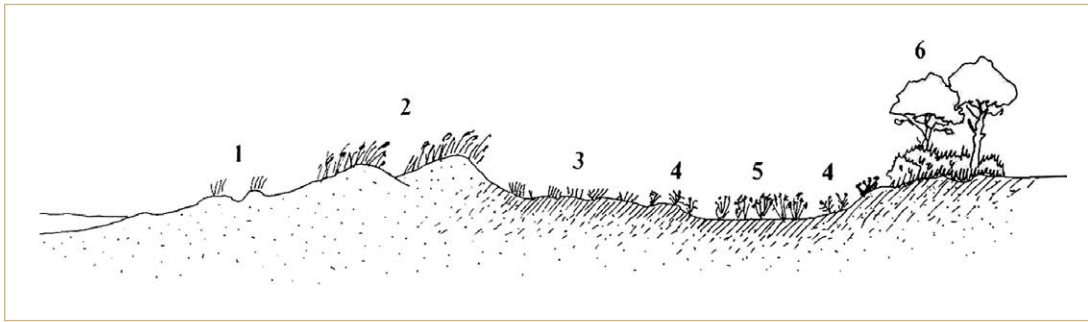


Figura 2.4

Transecto dunas mediterráneas. Devesa del Saler (Valencia), según Costa (1987).

3. **Dunas fijas**, más alejadas del mar; ya presentan una manifiesta incorporación de materia orgánica a la arena, lo que hace que ésta presente cierta trabazón. La vegetación cambia de aspecto, y ya no dominan las gramíneas, desarrollándose una comunidad rica en plantas leñosas (*Crucianelletum maritimae*) en la que destacan por su abundancia y representatividad la creuadeta marina (*Crucianella maritima*), la siempreviva (*Helichrysum stoechas*), la melera (*Ononis natrix* ssp. *ramosissima*) y *Teucrium belion*.
4. y 5. Por detrás de esta banda de dunas son frecuentes las **depresiones** que intersectan al nivel freático con agua salobre procedente del mar; en ellas, se desarrollan las comunidades de saladar, integradas por plantas suculentas o crasas adaptadas a soportar estos medios tan selectivos e inhóspitos. En ellas, son frecuentes las cirialeras (*Arthrocnemum* ssp. *pl.*), las colechas (*Limonium* ssp. *pl.*) y otras plantas como la salsona (*Inula crithmoides*), la *Artemisa gallica* y el llantén de hojas crasas (*Plantago crassifolia*).
6. Sobre las **dunas ya completamente estabilizadas** se desarrolla una vegetación acorde con las comunidades climatófilas de la zona, integrada entre otros elementos por el lentisco (*Pistacia lentiscus*), la coscoja (*Quercus coccifera*), el aladierno (*Phillyrea angustifolia*) y demás elementos propios de los lentiscales termófilos litorales. Según De Felipe & Vizcaíno (1987) estas dunas están estabilizadas por una maquia litoral mediterránea, con un estrato arbóreo de pino carrasco (*Pinus halepensis*), utilizado como dormitorio y área de reposo por numerosas aves. La cercanía de la capa freática y la menor influencia de la maresía definen un microclima más favorable que posibilita el desarrollo de una cu-

bierta vegetal densa, con mayor diversidad y cobertura, estructurada en varios estratos. Esta vegetación (asociación *Teucrio-Halimietum halimifolii*, asociación *Phillyreo-Rhamnetum angustifoliae*), tan peculiar y rara en el litoral ibérico, alberga una interesante fauna.

2.4.2.3. Clasificación ecológica de las dunas litorales

Se trata de clasificaciones de índole puramente biológica, que se basan en las sucesivas asociaciones vegetales y cinturones de vegetación que se suceden de mar a tierra. Se diferencian así distintos tipos hábitat según las especies más características, que a menudo coinciden con situaciones geomorfológicas particulares. Las clasificaciones ecológicas habitualmente se basan en criterios taxonómicos, a menudo sin tener en cuenta factores biofísicos como la topografía, la humedad del sustrato o la exposición al viento, los cuales evidentemente influyen en el desarrollo o en la preponderancia de un tipo u otro de taxón. En la figura 2.5 se muestra un típico esquema de sucesión de especies vegetales en un sistema dunar costero atlántico ibérico.

Este método requiere la identificación de las especies vegetales o asociaciones vegetales más características de cada cinturón o banda (especie dominante, característica o diagnóstica), así como de otras especies afines que a menudo no presentan exclusividad para ese tipo de hábitat. Obviamente, la existencia de un espectro específico lo más amplio posible y de una densidad suficientemente alta de cobertura vegetal permite definir el estado de salud ambiental del tipo de hábitat.

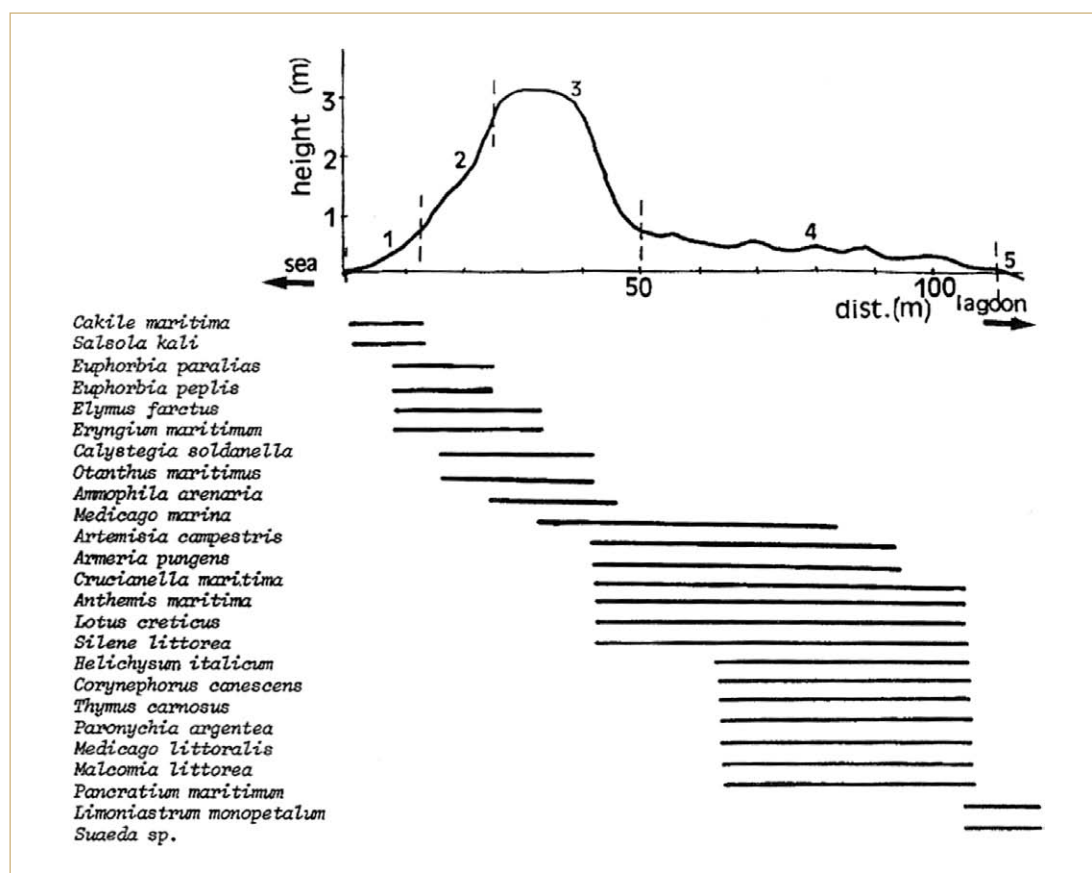
No obstante, tal y como se observa en la figura 2.5, las sucesiones vegetales en dunas costeras habitualmente presentan un elevado grado de superposición, lo que dificulta la definición inequívoca de tipos de hábitat independientes, sobre todo en zonas más alejadas de la línea de costa, donde las condiciones ambientales no son tan extremas. Surge entonces el problema de la delimitación o diferenciación de tipos de hábitat contiguos, que a menudo presentan un elevado porcentaje de especies comunes y morfologías dunares también similares. La correcta adscripción a un tipo u otro necesitaría de una evaluación de sus tendencias evolutivas, lo que requiere de un seguimiento de las poblaciones (expansión, sustitución, recesión, etc.).

Tomando como base varios estudios de ecosistemas dunares realizados en diferentes ámbitos costeros de la Península Ibérica (Escarré *et al.*, 1989;

García Novo, 1997; Caldas & Honrado, 2001; Benavent *et al.*, 2004), podrían diferenciarse los siguientes tipos de hábitat, que podrían considerarse como los ecosistemas dunares costeros españoles más importantes:

- Dunas embrionarias o primarias.
- Dunas móviles o secundarias con *Ammophila arenaria*.
- Depresiones interdunares, secas o húmedas.
- Dunas estabilizadas por bosque, matorral o pastizal.

Existe, sin embargo, una cierta confusión de términos cuando se designan las sucesivas alineaciones dunares con adjetivos referentes a numeraciones. Así, para unos, las dunas primarias son las primeras que se encuentran desde el mar hacia tierra, por lo que corresponden a las dunas embrio-



1: comunidad pionera; 2: duna primaria; 3: duna amarilla (cresta dunar); 4: duna estabilizada; 5: transición duna-marisma.

Figura 2.5

Histograma de especies presentes en un perfil dunar ideal. Ejemplos tomados del sistema dunar de Ría Formosa (Algarve, sur de Portugal; Fernandes & Neves, 1997).

narias. Sin embargo, para otros (Ley *et al.*, 2007), las dunas primarias se sitúan inmediatamente detrás de la duna embrionaria, formando el primer cordón dunar propiamente dicho. Todo depende de si se utilizan criterios básicamente biológicos o bien morfológicos, de modo que las dunas secundarias según unos (morfológica) son las dunas fijadas con vegetación, mientras que para otros (ecología) corresponden al primer cordón de dunas con *Ammophila*.

Por otro lado, existen también denominaciones que utilizan criterios cromáticos generales: dunas blancas, dunas amarillas y dunas grises, para referirse a distintas bandas dunares con diferente grado de madurez y/o evolución.

■ Los términos **dunas blancas** y **dunas amarillas** se refieren a dunas móviles en general, que presentan una escasa cobertura vegetal, por lo que incluirían tanto a las dunas embrionarias como a las móviles con *Ammophila*. Además, estas denominaciones podrían darse también perfectamente a edificios dunares móviles sin vegetación, que no se contemplan en las clasificaciones ecológicas, si bien son predominantes en algunos ámbitos sedimentarios como, por ejemplo, el delta del Ebro. Los colores blancos y sobre todo amarillentos se deben al predominio de granos de cuarzo y calizas. A menudo los colores más blanquecinos se asocian a un mayor contenido en carbonatos biogénicos dentro de la fracción arena (arena bioclástica), o a una proporción importante de sulfatos (arenas yesíferas).

■ Las **dunas grises** se refieren a dunas fijadas con vegetación, más evolucionadas y con un mayor contenido en materia orgánica, que justificaría su oscurecimiento cromático. Sin embargo, es evidente que el color del sedimento que conforma las dunas no sólo depende del estadio evolutivo de estos sistemas y de los aportes orgánicos, sino también, y especialmente, de la composición original del sedimento eólico. Así, dunas móviles o primarias de diversos puntos del litoral de Almería presentan coloraciones grisáceas, debido a la proliferación de minerales pesados, especialmente ferromagnesianos entre sus granos procedentes de la erosión de los afloramientos volcánicos que existen en las inmediaciones. Para unos (criterio morfológico) estas serían las dunas secundarias (móviles con *Ammophila are-*

naria o incluso primarias si no hay vegetación), mientras que para otros (criterio ecológico) serían las dunas terciarias, las que conforman el segundo cordón dunar, más allá de la depresión interdunar, que está mucho más evolucionado biológicamente.

■ Las **dunas fósiles** pleistocenas mediterráneas con miles de años de antigüedad también presentan las tonalidades amarillentas que algunas clasificaciones reservan a las dunas embrionarias y primarias. Estas dunas han experimentado procesos diagenéticos de compactación deshidratación y cementación que no han afectado, sin embargo, ni a su color primitivo ni a su composición mineralógica (Sanjaume, 1985), ya que la única diferencia respecto a las dunas holocenas es un incremento de la proporción de carbonatos. Muchas de estas dunas habían tenido vegetación como demuestran las rizoconcreciones que se observan en ellas. Existen numerosos ejemplos de este tipo de dunas en el litoral alicantino y de las Islas Baleares (Sanjaume, 1985; Sanjaume, *et al.*, 1985; Servera & Riquelme, 2004; Riquelme, 2005). También existen ejemplos de estos casos en el litoral suroccidental español (dunas de San Antón, en la Bahía de Cádiz), así como en diversos puntos del interior de la Península Ibérica (dunas de Arévalo, en Segovia, o dunas cuaternarias de Escorihuela, en Teruel). No obstante, la tonalidad de las acumulaciones arenosas se ha utilizado también, por ejemplo, para diferenciar distintos tipos de hábitat dentro de los complejos de dunas fijadas por vegetación arbustiva (monte blanco y monte negro en el Parque Nacional de Doñana; García Novo, 1997).

En 1988, Hesp propone una clasificación morfoecológica con cinco tipos diferentes de duna delantera (ver figura 2.6), que responden a las modificaciones que las dunas experimentan a medida que va perdiendo cobertura vegetal. En realidad, cada uno de los tipos son formas intermedias de evolución y se pueden seguir perfectamente las transiciones entre los distintos tipos.

■ **Tipo 1 (Fa):** La duna delantera o frontal (*foredune*) presenta una gran continuidad longitudinal. Su superficie es suavemente ondulada y presenta una buena cubierta vegetal (90-100%). Su perfil es disimétrico, con una pendiente suave a barlovento, una cresta bastante ancha y una vertiente

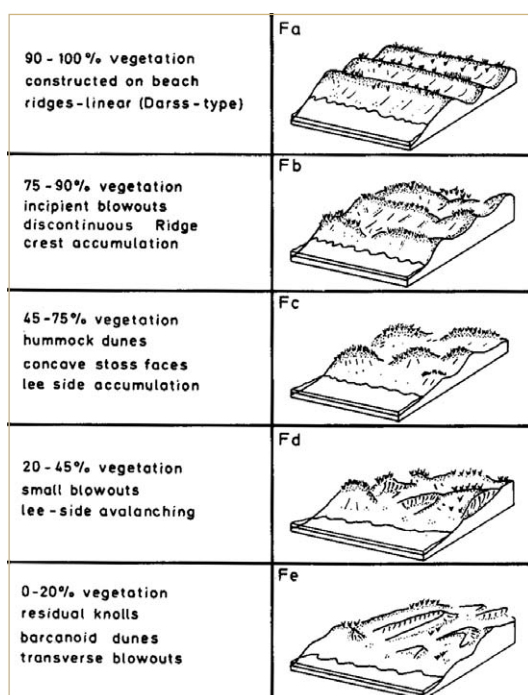


Figura 2.6

Clasificación morfo-ecológica de tipos dunares de Hesp (1988).

de sotavento bastante más inclinada. La arena es transportada desde la playa seca y es depositada en la parte inferior de la cara de barlovento. Por regla general, la densidad de la cubierta vegetal, el tipo de vegetación y la altura de la duna determinan la extensión superficial del depósito de la arena en la *foredune*.

- **Tipo 2 (Fb):** Presenta una morfología semejante al tipo anterior, aunque la densidad de la cubierta vegetal es inferior (75-90%). Estas dunas se caracterizan por presentar zonas reducidas (menos de 4 m²) sin vegetación, pequeñas cubetas de deflación y pequeños pasillos de arena. La arena en este tipo sigue siendo transportada desde la playa.
- **Tipo 3 (Fc):** Es el tipo más frecuente en las zonas no degradadas antrópicamente. Se caracterizan por presentar una topografía *hummocky* (alomada o de crestas). La cubierta vegetal es menor (45-75%). Las crestas son más irregulares y las cubetas de deflación ya se han ido ampliando, por lo que ya aparecen algunos *blowouts* típicos. Este tipo de duna es mucho más asimétrico que los anteriores, ya que la asimetría de las dunas

delanteras parece estar relacionada o bien con el descenso de la cubierta vegetal o con el incremento de la erosión del viento. En cada uno de los tipos que hemos visto anteriormente, y en este también, la longitud de la cara de barlovento se va incrementando, al mismo tiempo que se va haciendo más inclinada la vertiente de sotavento. En este tipo de dunas es muy frecuente que se produzca algún tipo de berma erosiva por acción de las olas, al pie del costado de barlovento. Cuanto menor sea la densidad de vegetación, mayor facilidad para la acción erosiva de las olas en momentos de fuerte temporal marino.

- **Tipo 4 (Fd):** Este tipo se caracteriza por una pronunciada irregularidad topográfica, el desarrollo de amplios *blowouts*, algunos alargados en sentido transversal a la línea del agua, y una cubierta vegetal muy moderada (20-45%), lo que permite el desarrollo de pequeñas cuencas de deflación, depresiones y amplias zonas arenosas sin vegetación.
- **Tipo 5 (Fe):** En este tipo sólo quedan restos de lo que fue la duna delantera. Predomina la erosión por las olas o por el propio viento. La cubierta vegetal es muy escasa (5-20%) la morfología consiste en una sucesión de mogotes discontinuos.

Es una lástima que no tengamos una clasificación similar para el resto de los conjuntos dunares, en donde se tengan en cuenta las interrelaciones entre procesos de acumulación/erosión y el tipo de vegetación que las sucesivas alineaciones dunares van soportando y como esta vegetación puede llegar a modificar los procesos.

Según Carter *et al.* (1990), después de revisar la mayor parte de las clasificaciones propuestas hasta ese momento, señalan que la clasificación más utilizada está, en realidad, basada en una amalgama de factores morfológicos, posicionales, de estabilidad y cronología, por lo que el resultado sería la existencia de:

- Incipientes dunas delanteras (o dunas amarillas, o primarias, o embrionarias) localizadas en las zonas más próximas a la orilla.
- Dunas secundarias consolidadas (o dunas blancas, o secundarias, o estabilizadas), que se sitúan más lejos hacia el interior del postpaís costero.

- Formas inestables y móviles, incluyendo barjanas, parabólicas, transversales y lineales.

Una de las propuestas más recientes se debe a Ley *et al.* (2007), basada en la clásica distinción hecha por Bird (1990). Es una clasificación muy simple en la que los criterios utilizados no quedan muy claros y sólo tienen en cuenta algunos tipos de dunas y no

contemplan otros tipos que pueden ser predominantes en algunos ámbitos. Distinguen los siguientes tipos básicos:

- Primer cordón o anteduna (duna primaria).
- Casquetes o depresiones eólicas.
- Dunas parabólicas.
- Mantos dunares transgresivos.



3. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA

3.1. DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES VEGETALES EN LOS SISTEMAS DUNARES COSTEROS ESPAÑOLES

El criterio básico de la Directiva de Hábitats para la clasificación de hábitat dunares es fundamental-

mente fitosociológico, tomando las asociaciones vegetales como indicadoras de distintos tipos de hábitat de interés comunitario. En ese sentido, la distribución de especies a lo largo de los sistemas dunares españoles no es homogénea. La tabla 3.1 presenta un listado de plantas de los sistemas dunares costeros españoles.

Tabla 3.1

Especies de plantas de los sistemas dunares costeros activos en España (modificado de Ley et al., 2007).

	País Vasco	Cantabria	Galicia	Cataluña	Valencia	Andalucía	Canarias
<i>Aetheorhiza bulbosa</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Alyssum loiseleurii</i>	*		*				
<i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>arenaria</i>	*	*	*			*	
<i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>arundinacea</i>			*	*	*	*	
<i>Anthemis maritima</i>				*			
<i>Armeria maritima</i>	*	*	*			*	
<i>Armeria pungens</i>			*			*	
<i>Artemisia caerulescens</i> subsp. <i>gallica</i>				*	*		
<i>Artemisia campestris maritima</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Asperula occidentalis</i>	*	*					
<i>Aster squamatus</i>				*	*		
<i>Astragalus baionensis</i>	*						
<i>Atriplex glauca</i>							*
<i>Cakile maritima</i> subsp. <i>integrifolia</i>	*	*	*				
<i>Cakile maritima</i> subsp. <i>maritima</i>				*	*		
<i>Cakile maritima</i> subsp. <i>aegyptiaca</i>			*			*	
<i>Calystegia soldanella</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Carduus meonanthus</i>						*	
<i>Carex arenaria</i>	*	*	*			*	
<i>Centaurea aspera</i> L. subsp. <i>aspera</i>				*			
<i>Centaurea aspera</i> . subsp. <i>stenophylla</i>					*		
<i>Centaurea polyacantha</i>						*	
<i>Crucianella maritima</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Cutandia maritima</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Cyperus capitatus</i>			*	*	*	*	*
<i>Desmazeria marina</i>	*	*	*	*			
<i>Echinaria spinosa</i>				*	*		
<i>Echium gaditanum</i>						*	

► Continuación Tabla 3.1

	País Vasco	Cantabria	Galicia	Cataluña	Valencia	Andalucía	Canarias
<i>Elymus farctus</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Eryngium maritimum</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Euphorbia paralias</i>	*	*	*	*	*	*	*
<i>Euphorbia peplis</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Euphorbia portlandica</i>	*	*	*				
<i>Festuca rubra</i> subsp. <i>arenaria</i>	*	*					
<i>Glaucium flavum</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Hedypnois arenaria</i>					*	*	
<i>Herniaria ciliolata</i>	*	*	*				
<i>Honckenya peploides</i>	*	*	*				
<i>Hypochoeris glabra</i>						*	
<i>Koeleria albenscens</i>	*	*		*	*		
<i>Lagurus ovatus</i> L.		*	*	*	*		
<i>Launaea arborescens</i>							*
<i>Launaea resedifolia</i>				*	*	*	
<i>Linaria maritima</i>	*	*	*			*	
<i>Lotetum lancerottensis</i>							*
<i>Lotus creticus</i>				*	*	*	
<i>Malcolmia littorea</i>			*		*	*	
<i>Maresia nana</i>				*	*		
<i>Matricaria maritima</i>	*	*	*				
<i>Matthiola sinuata</i>			*	*	*		
<i>Medicago littoralis</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Medicago marina</i>	*	*	*		*	*	
<i>Otanthus maritimus</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Pancratium maritimum</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Polycarpaea nivea</i>							*
<i>Polygonum maritimum</i>				*	*	*	
<i>Pseudorhiza pumilla</i>				*	*	*	
<i>Reichardia gaditana</i>			*			*	
<i>Reichardia picroides</i>				*	*		
<i>Sagina nodosa</i>	*	*					
<i>Salsola kali</i>	*	*	*	*	*	*	
<i>Schizogynum sericeae</i>							*
<i>Silene littorea</i>						*	
<i>Silene nicaeensis</i>				*		*	
<i>Silene ramosissima</i>					*	*	
<i>Silene uniflora</i>	*	*	*				
<i>Solidago macrorrhiza</i>	*						
<i>Sporobolus pungens</i>				*	*	*	
<i>Traganum moquinii</i>							*
<i>Vulpia alopecurus</i>						*	
<i>Zygophyllum fontanesii</i>							*

3.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE HÁBITAT DE INTERÉS COMUNITARIO EN LOS SISTEMAS DUNARES

A continuación se expone un listado de los principales sistemas dunares del litoral español, según las tres regiones biogeográficas presentes en él (atlántica, mediterránea y macaronésica). Para cada sistema dunar se muestran los diferentes tipos de hábitat de interés comunitario identificados, para lo cual se ha utilizado la siguiente simbología:

* Tipo de hábitat de interés comunitario que aparece reflejado en los mapas del Ministerio de

Medio Ambiente, y de medio Rural y Marino, y consideramos que la asignación es correcta.

- * Tipo de hábitat de interés comunitario que aparece reflejado en los mapas del Ministerio de Medio Ambiente, y de medio Rural y Marino, pero cuya presencia real es discutible, bien por error o bien porque ha desaparecido y ya no está presente en ese lugar.
- * Tipo de hábitat de interés comunitario que no aparece en los mapas del Ministerio de Medio Ambiente, y de medio Rural y Marino, pero que muy probablemente está presente en ese lugar.
- * Tipo de hábitat de interés comunitario que no aparece en los mapas del Ministerio de Medio Ambiente, y de medio Rural y Marino, pero que ha sido identificado positivamente en ese lugar.

■ Región biogeográfica Atlántica

Tabla 3.2 Principales sistemas dunares de la región biogeográfica Atlántica.

SISTEMAS DUNARES	2110	2120	2130	2150	2190	2230	2240	2250	2260	2270
1. Zarautz (SS)	*	*	*							
2. Laredo (S)	*	*	*							
3. Somo (S)	*	*	*							
4. Liencres (S)	*	*	*							
5. Oyambre (S)	*	*	*							
6. Xagó (O)	*	*	*							
7. Salinas (O)	*	*	*							
8. Bayas (O)	*	*	*							
9. Barayo (O)	*	*	*							
10. Frejulfe (O)	*	*	*							
11. Navia (O)	*	*	*							
12. Viveiro (LU)	*	*	*							
13. Barquero (LU)	*	*								
14. Ortigueira (C)	*	*	*							
15. Cedeira (C)	*	*	*							
16. Vilarrube – Pantín (C)	*	*	*							
17. Frouxeira (C)	*	*	*			*			*	
18. Ponzos – Santa Comba (C)	*	*	*			*			*	
19. San Jorge (C)	*	*	*			*			*	
20. Doniños (C)	*	*	*			*			*	
21. Baldaio (C)	*	*	*			*				
22. Lage (C)	*	*	*			*			*	
23. Daloris (C)	*	*	*			*			*	
24. Traba (C)	*	*	*			*			*	

► Continución Tabla 3.2

SISTEMAS DUNARES	2110	2120	2130	2150	2190	2230	2240	2250	2260	2270
25. Trece (C)	*	*	*			*			*	
26. Rostro (C)	*	*	*			*			*	
27. Carnota (C)	*	*	*							
28. Basoñas (C)	*	*	*			*				
29. Corrubedo (C)	*	*	*			*				
30. La Lanzada (PO)	*	*	*			*				
31. Islas Cíes (PO)	*	*	*			*			*	
32. Samil (PO)	*									
33. Ayamonte - Isla Cristina (H)	*	*	*	*		*				*
34. La Antilla - El Rompido (H)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
35. Punta Umbria (H)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
36. Abalario - El Asperillo (H)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
37. Doñana (H)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
38. Punta Candor (CA)	*	*								*
39. San Antón-Valdelagrana (CA)	*	*	*							*
40. El Chato-Sancti Petri (CA)	*	*			*					*
41. La Barrosa - Roche (CA)		*						*	*	*
42. El Palmar (CA)		*								
43. Trafalgar (CA)	*	*	*		*	*		*	*	*
44. La Hierbabuena (CA)	*	*	*		*	*		*	*	*
45. Zahara - El Cañuelo (CA)	*	*								*
46. Bolonia (CA)	*	*						*		*
47. Pta Paloma-Valdevaqueros (CA)	*	*	*			*		*	*	*
48. Los Lances (CA)	*	*	*		*	*		*	*	*

■ Región biogeográfica Mediterránea

Tabla 3.3
Principales sistemas dunares de la región biogeográfica Mediterránea.

SISTEMAS DUNARES	2110	2120	2190	2210	2230	2240	2250	2260	2270
49. Bahía de Rosas (GE)	*	*	¿?	*					
50. Pals (GE)	*	*	¿?	*					*
51. Castelldefels (B)	*	*	*	*					*
52. Torredembarra (T)	*	*	*	*		*	*		
53. Cambrils (T)			*	*			*		
54. El Fangar (T)	*	*		*	*				
55. La Banya (T)	*	*	*	*	*				
56. El Serradal (CS)	*			*	*				
57. Torre la Sal (CS)	*	*		*	*		*	*	

► Continuación Tabla 3.3

SISTEMAS DUNARES	2110	2120	2190	2210	2230	2240	2250	2260	2270
58. Moncófar-Almenara (CS)	*			*	*				
59. Canet (V)	*	*		*	*			*	
60. Devesa del Saler (V)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
61. Oliva - Pego (V)	*	*		*	*	*			
62. Jávea (V)	*	*		*	*			*	
63. El Campello (A)	*	*		*	*	*			
64. Serra Gelada (A)				*	*		*	*	
65. Santa Pola - El Pinet (A)	*	*		*	*	*		*	
66. Guardamar (A)	*	*		*	*	*		*	*
67. Pilar de la Horadada (A)	*	*		*	*	*			
68. La Manga (MU)	*	*		*	*	*	*	*	
69. Calblanque (MU)	*	*		*	*	*			
70. Cabo de Gata (AL)	*	*		*	*			*	
71. Punta Entinas-Sabinar (AL)	*	*	*	*	*	*	*	*	
72. Cabopino (MA)	*	*		*	*		*		
73. Torreguadiaro (CA)	*	*			*			*	
74. Palmones (CA)	*	*							
75. Cala Tirant (N Menorca)	*	*	*	*		*	*	*	
76. Es Grau (NE Menorca)		*	*	*		*	*	*	
77. Son Bou (S Menorca)	*	*		*			*		
78. Bahía de Alcudia (PM)	*	*	*	*	*	*	*	*	¿?
79. Ses Salines (SE PM)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
80. Ses Salines (S Ibiza)	*	*	*	*	*	*	*		
81. Formentera	*	*	*	*	*	*	*		

■ Región biogeográfica Macaronésica

Tabla 3.4

Principales sistemas dunares de la región biogeográfica Macaronésica.

SISTEMAS DUNARES	2110	2130	2190	Dunas móviles no vegetadas (1)	Dunas costeras con <i>Traganum moquinii</i> (1)	Mantos eólicos (1)
82. Alegranza (Lanzarote)						*
83. La Graciosa	*	*			*	*
84. Caletón Blanco (Lanzarote)						*
85. Famara (Lanzarote)	*	*		*	*	*
86. Montaña Roja (Lanzarote)	*					*
87. Tostón (Fuerteventura)	*	*			*	*
88. Corralejo (Fuerteventura)	*	*		*	*	
89. Jandía (Fuerteventura)	*			*		*

Sigue ►

► Continuación Tabla 3.4

SISTEMAS DUNARES	2110	2130	2190	Dunas móviles no vegetadas (1)	Dunas costeras con <i>Tragnum moquinii</i> (1)	Mantos eólicos (1)
90. Punta Jandía (Fuert.)						*
91. Majanicho (Fuertevent.)						*
92. Lajares (Fuerteventura)						*
93. Isla de Lobos (Fuert.)						*
94. Jable de Vigocho (Fuert.)						*
95. Maspalomas (GC)	*	*	*	*	*	
96. Punta de las Arenas (GC)						*
97. Tufia (GC)						*
98. Gando (GC)						*
99. Arinaga (GC)						*
100. El Médano (TF)	*	*			*	*
101. Puntallana (Gomera)						*

Nuevos tipos de hábitat de interés comunitario propuestos. Ver apartado 8.

3.3. FACTORES BIOFÍSICOS DE CONTROL

3.3.1. Factores genéticos

Las dunas son mucho más que meras acumulaciones de arena, puesto que en realidad son complejos sistemas en los que parte biótica y abiótica están íntimamente relacionados. El característico ensamblaje de las formas, sus secuencias espaciales y su evolución temporal, son una consecuencia tanto del desarrollo de las comunidades vegetales como de la respuesta a procesos físicos (Quigley, 1991). La mayoría de autores están de acuerdo en que los complejos dunares más importantes se desarrollan en los ámbitos en los que se reúnen los siguientes requisitos: fuerte suministro de material, transporte litoral libre, fuertes vientos marinos, precipitaciones moderadas, escasa humedad atmosférica, playas de poca pendiente y zonas con amplio rango de marea. Ahora bien, los factores que crean y controlan la génesis y desarrollo de las dunas litorales son principalmente: intensidad y dirección del viento, disponibilidad de suministro de arena, topografía, humedad y presencia de vegetación (McKee, 1983). Recientemente otros autores (Ley *et al.*, 2007) han añadido algunos factores que también parecen tener influencia en el desarrollo de las dunas costeras: la topografía de la zona continental adyacente a la playa, que debe ser

lo suficientemente amplia y plana para permitir la mayor sedimentación arenosa posible; la posición del nivel freático, que en zonas litorales suele encontrarse a muy poca profundidad, por lo que puede incrementar la cohesión de los materiales y la humedad atmosférica, propia de la zona costera, que dota a los granos de mayor grado de cohesión, contribuyendo a la sedimentación definitiva de la arena y facilitando la colonización vegetal.

Klijn (1990), sintetiza más y propone que los principales factores que intervienen en la génesis de las dunas son: el suministro arenoso, la actuación de los procesos marinos, el viento y el crecimiento de la vegetación.

3.3.1.1. Suministro arenoso

Además de las propias características texturales y químicas de la arena (tamaño, densidad de los granos, cohesión, etc), que incrementará o disminuirá su facilidad de transporte, el suministro de arena, del que dependerá la magnitud del complejo dunar, depende de varios factores:

- Anchura y profundidad de la plataforma continental. En las costas mediterráneas, las plataformas son relativamente estrechas, por lo que el

suministro que proporcionan para el desarrollo de los conjuntos dunares es muy escaso. El caso contrario se da en el Golfo de Cádiz.

- Condiciones sedimentarias de los fondos de la playa sumergida. La presencia de arena y las pendientes suaves facilitan el depósito de arena por parte de las olas. Arena que una vez seca podrá ser transportada por el viento.
- Presencia de sedimentos arenosos en el postpaís costero. En algunos ámbitos, este factor es de gran importancia, sobre todo si los vientos presentan un régimen bidireccional, como en las costas valencianas o las próximas al Estrecho de Gibraltar, donde la alternancia de levante-poniente hace que las zonas interiores deforestadas puedan actuar como fuente de alimentación.
- Existencia de ríos que aporten arena al mar. En ese sentido, la naturaleza geológica de las cuencas fluviales surcadas por los ríos también determina la cantidad de aportes arenosos. Así por ejemplo, la meteorización de los granitos paleozoicos de Sierra Morena da lugar a importantes espesores de arenas que luego son transportadas por los ríos Guadiana, Tinto y Odiel o Guadalquivir a la costa del Golfo de Cádiz, dando como resultados extensas playas de arena fina a la que se asocian importantes conjuntos dunares.
- Acantilados susceptibles de ser erosionados. En algunos casos la naturaleza arenosa de los acantilados favorece su fácil erosión por el oleaje y el suministro de arena a playas colindantes: es el caso de los acantilados en erosión de la provincia de Huelva, que suministran importantes cantidades de arena a las playas de Doñana, donde se ubican los complejos dunares más importantes de la Península Ibérica. Sin embargo, en otras zonas, como muchos tramos costeros mediterráneos, tanto peninsulares como insulares, las fuentes de arena en acantilados se limitan a la erosión de dunas remontantes pleistocenas y de otras dunas fósiles.
- Cercanía a la fuente sedimentaria principal. Las corrientes longitudinales distribuyen el sedimento arenoso desde el área fuente. Habitualmente, los procesos de refracción de olas y corrientes favorecen la sedimentación en zonas abrigadas (bahía, ensenadas, etc.). Por lo tanto, longitudinalmente, los aportes de arena van sedimentándose de tal modo que el alcance de los aportes sedimentarios tiene un límite. Cuanto más lejos se sitúe una playa de su fuente natural de sedimentos, menor probabilidad habrá de que reciba im-

portantes cantidades de arena, y por tanto menores posibilidades tendrá de que sus sistemas dunares alcancen gran desarrollo.

3.3.1.2. Influencia marina

La influencia del mar en la formación de las dunas es múltiple. Por un lado, controla el balance sedimentario mediante el transporte que realizan las olas, las corrientes longitudinales y transversales y las mareas. Por tanto, la incidencia de los vientos capaces de generar olas son importantes, así como la propia energía de las olas, que depende de su altura, longitud y velocidad de propagación (las olas más largas tienen mayor velocidad de propagación, por lo que al viajar más deprisa, prácticamente no pierden energía por rozamiento y toda esa energía se desgasta en el momento de la ruptura de la ola, que es cuando se ponen en suspensión los sedimentos que después serán depositados en la playa).

Por otra parte, los parámetros de las olas (altura, longitud, período, velocidad de propagación, etc.) dependen de la intensidad del viento, del tiempo que el viento está soplando con una intensidad determinada y del *fetch* (que es la distancia recorrida por un viento sin cambiar de dirección, en línea recta). Por su parte, la dirección del transporte sedimentario (longitudinal o transversal a la orilla) que realizan las corrientes litorales también depende de la orientación de la costa respecto a las direcciones predominantes de las olas.

Los factores oceanográficos influyen en general en el balance sedimentario de las playas (energía del oleaje y de las corrientes), en la extensión de playa expuesta al viento (condicionada por el rango de mareas), o en la salinidad ambiental (efecto aerosol del oleaje). Las playas expuestas a mar abierto, afectadas periódicamente por fuertes vientos y temporales de energía moderada, son las más favorables al desarrollo de grandes dunas. Este es el caso de las playas disipativas, caracterizadas por una suave pendiente y tamaño de grano fino (ver figura 3.1), que favorece el transporte eólico a lo largo de una franja intermareal muy ancha (Carter, 1988).

La acción del oleaje favorece los procesos eólicos al mantener la superficie de la playa completamente desnuda. La combinación del estrés mecánico y químico reforzado por un microclima muy severo



Figura 3.1

Imagen de una playa disipativa con dunas embrionarias. Playa de Los Lances (Tarifa).

conduce a la imposibilidad de que ningún tipo de vegetación se desarrolle en la zona alcanzada directamente por el mar.

La influencia del mar afecta a zonas internas gracias a la maresía (*sea-spray*), puesto que la llegada de rocciones y salpicaduras de las olas determina la presencia de sal a distancias bastante considerables de la orilla, afectando a la vegetación e incluso a la morfología dunar.

3.3.1.3. Características del viento

El viento, como los demás fluidos, debe su capacidad morfogenética a su propia dinámica como fluido. El aire es un fluido newtoniano, pseudoelástico, comprensible y sin superficies limitantes. Sus principales características internas son: viscosidad o fricción interna y densidad.

- La *viscosidad* cinemática del aire *aumenta con el incremento de la temperatura*, lo que supone un incremento paralelo de su capacidad de transporte. Las diferencias de viscosidad entre el aire y el agua no son demasiado importantes: a 20 °C,

la viscosidad del agua es de $1,011 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$, y la del aire es de $1,554 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{seg}$, pero la viscosidad del agua aumenta con la disminución de la temperatura, al contrario que el aire, cuya viscosidad aumenta con el incremento de la temperatura. En consecuencia, la capacidad de transporte del aire en zonas de elevada temperatura es muy superior a la del agua. Pero la gran diferencia entre ambos fluidos viene marcada por su diferente densidad.

- La *densidad* del agua a 20 °C es de 998,23 kg/m³, y la del aire de 1,20 kg/m³. Estas diferencias influyen en la diferente competencia de transporte que presentan ambos fluidos. Para una velocidad determinada, mientras que el agua podría transportar grandes bloques, a esa misma velocidad el aire sólo sería capaz de transportar pequeños granos de arena. Por otra parte, *la densidad del aire disminuye con la temperatura*. O sea, que el viento en zonas cálidas puede transportar una gran cantidad de sedimentos, pero de calibre muy fino.

En las condiciones naturales en las que se encuentra el aire atmosférico, el movimiento no puede ser estacionario, sino que es a ráfagas y, además, la super-

ficie sobre la que se mueve es irregular, por lo que el flujo del aire genera turbulencia. La velocidad del viento o la velocidad de arrastre determinarán unas condiciones de flujo bajo las que se logrará una *velocidad umbral de fluido* para una superficie arenosa particular. La velocidad umbral de fluido es la velocidad a la que las partículas del suelo comienzan a moverse. La velocidad umbral aumenta con la densidad de las partículas y con su tamaño y disminuye al aumentar la densidad del aire.

Bagnold (1941) sugirió que una vez se alcanza un umbral crítico de velocidad de cizalla, los granos estacionarios de la superficie pueden empezar a rodar por la misma debido a la presión directa del viento. Otros autores han constatado (Bisal & Nielsen, 1962) que los granos de arena antes de ponerse en movimiento, comienzan a mecerse hacia delante y hacia atrás y después son elevados directamente al interior del flujo sin necesidad de haber rodado previamente. Sugieren que el movimiento inicial para la saltación se debe a diferencias instantáneas de presión cerca del suelo, que actúan como impulso. Se ha constatado que a medida que aumenta la velocidad del viento, las partículas empiezan a vibrar, cada vez con mayor intensidad, hasta que llega un punto crítico en el que se levantan instantáneamente. Después comienzan a saltar y rebotar (Warren, 1979).

- Cuando los granos caen de nuevo al suelo, golpean la superficie perturbando a uno o más granos estacionarios. Como resultado de este impacto causado por los granos en saltación, nuevas partículas son lanzadas a la corriente de aire, necesitando para ello velocidades más bajas que las que se requieren para movilizar una partícula estacionaria por presión directa del fluido. Por tanto, como apunta Warren (1979), para un determinado tamaño de partícula, el viento que se necesita para iniciar el movimiento debe tener una mayor intensidad que la que se necesita para mantener el bombardeo balístico. De acuerdo con Nickling (1988), el resultado del efecto balístico es un efecto cascada que se inicia en unos pocos granos que ponen en movimiento a un creciente número de granos de un modo muy rápido. Una vez la partícula ha sido descolocada del lecho, puede moverse gracias a diferentes mecanismos como la suspensión, la saltación y la reptación.
- La *suspensión* se produce cuando los granos que han sido elevados del suelo mantienen la sufi-

ciente fuerza como para resistir la tendencia a caer de nuevo, provocada por su propio peso. Esto se produce bajo condiciones de fuerte turbulencia de aire o cuando las partículas movilizadas tienen un calibre muy pequeño.

- La *saltación* se produce cuando un grano que ha sido levantado cae de nuevo. Con la caída puede rebotar y caer de nuevo al suelo con un ángulo muy bajo. La saltación significa un transporte a saltos por rebote y en cada rebote, al chocar con la superficie de arena, disloca otras partículas y puede proyectarlas en el aire. Un 75% de los granos que se mueven durante el transporte eólico lo hacen en saltación (ver figura 3.2).
- La *reptación* es, en ocasiones, una consecuencia de la propia saltación. La energía de una partícula al chocar con el suelo es tal que puede llegar a desplazar un grano superficial estacionario de hasta seis veces su propio diámetro o doscientas veces su propio peso. El resultado es un lento movimiento a favor del viento de las partículas demasiado grandes para desplazarse en saltación o suspensión.

La presencia de humedad, de agentes de cementación y de sales (que tienen un efecto de aglomerante), influyen significativamente en la velocidad umbral para el arrastre de partículas de cierto tamaño. Como demostró Belly (1964), con el aumento de la humedad debe incrementarse la velocidad umbral para poder movilizar una partícula determinada: Un incremento de un 0,6% en el volumen de humedad puede doblar o incluso triplicar el valor de la velocidad umbral de arrastre, en comparación con la arena seca. La presencia de recristalizaciones de sal también tiene repercusiones en cuanto al valor crítico del despegue (Pye, 1980) y su influencia es mucho mayor en arenas finas (Nickling, 1984). La velocidad umbral también se ve influida por la rugosidad de la superficie, que está controlada por la presencia de tamaños de grano de tipo grava o superiores y por la presencia de vegetación. A medida que el viento se va llevando lo que puede transportar y van quedando los materiales más gruesos que no es capaz de movilizar, la rugosidad crece y la tasa de remoción disminuye.

Algunos autores han dado cifras concretas respecto a la velocidad crítica de la puesta en movimiento de los sedimentos (Svasek & Terwindt, 1974). Así, Bagnold (1941) señalaba que la velocidad del viento ha de ser superior a 4 m/seg, mientras que Zenkovich (1967) indica que para movilizar materiales de diámetros de

0,12 mm, 0,32 mm, 0,60 mm y 1,04 mm se requieren intensidades de 1,5; 4; 7,4 y 11,4 m/seg respectivamente. Por su parte, Thomas (1973) sugiere velocidades de 7,2 m/seg. Tsoar (1990) señala que con una humedad de 1,05%, el transporte se inicia con velocidades de 10 m/s a una altura de 2 m. Sin embargo, cuando se producen precipitaciones, la humedad se incrementaba hasta un 2% y en este caso no hay ningún tipo de transporte de arena, incluso con velocidades de 25 m/s.

La *tasa de transporte de arena* es proporcional a la velocidad del viento elevada a la tercera potencia. En realidad, la fórmula propuesta por Bagnold (1941) sería la siguiente:

$$q = K(d/D)^{1/2} (\rho/g) V^{*3}$$

Siendo q la tasa de transporte, K una constante empírica, d el calibre medio de la arena, D un diámetro tomado como estándar (0,25 mm), ρ la densidad del aire, g la aceleración de la gravedad y V^* la velocidad de arrastre.

Además de la velocidad del viento, en la tasa de transporte de arena influyen: la dirección del viento

(Bauer & Davidson-Arnott, 2002) ya que determina la anchura efectiva de la playa, el tamaño de la partícula; la densidad del grano, la densidad del aire (que varía con la temperatura y la altura), la temperatura y humedad del aire puesto que determinan la densidad del aire (Sherman & Hotta, 1990), la eficiencia del transporte; el perfil de velocidad y, finalmente, las características de la superficie (Cooke & Warren, 1973). De acuerdo con Willets (1983), la forma del grano es importante cuando las intensidades de viento son altas. Por su parte Jensen & Sorensen (1986) señalan que la influencia de la forma del grano en las características del transporte se debe, principalmente a que determina cambios en la capacidad que tienen los granos para saltar cuando caen y golpean el suelo. De acuerdo con estos autores, los granos angulosos presentan una altura media de salto considerablemente menor que los granos esféricos.

Según Sherman *et al.* (2005), además de todos los factores mencionados anteriormente, respecto a la tasa de transporte habría que tener en cuenta: la densidad de todos los sedimentos superficiales, la clasificación de dichos sedimentos, el contenido de humedad de los materiales (Jackson & Nordstrom, 1997), la presencia de agentes que facilitan la cohe-



Figura 3.2

Movimiento eólico de granos de arena por saltación. Frente de avance de una duna de levante en la Punta del Boquerón (San Fernando, Cádiz).

sión como, por ejemplo, la sal (Nickling & Ecclesstone, 1981), o la presencia de coberteras microbianas y algas (Pluis & de Winder, 1990), la pendiente de la superficie (Bagnold, 1973), la anchura de la playa (Jackson & Cooper, 1999), la ubicación de las líneas de basura durante las tormentas (Nordstrom *et al.*, 2000) puesto que también atrapan arena y, finalmente, la vegetación (Hesp, 1989). En zonas antropizadas, el transporte también puede verse influido por diferentes tipos de estructuras construidas por el hombre, ya que alteran el normal deslizamiento de los flujos de aire.

La importancia de todas estas variables en el transporte eólico ha sido ampliamente analizada en los trabajos de: Horikawa (1988), Sherman & Hotta (1990), Nickling & Davidson-Arnott (1990), Pye & Tsoar (1990) y Nordstrom (2000). Pero a la hora de hacer el seguimiento de una determinada zona, de todos estos factores los más importantes son: velocidad del viento, tamaño de grano y contenido de humedad.

Las tasas de transporte varían de acuerdo con la intensidad del viento. Se ha constatado que incluso las variaciones diarias de velocidad de las brisas pueden afectar a dichas tasas (Hunter & Richmond, 1988). Además, la magnitud de la tasa de transporte afecta también a la morfología de la duna. Según Lancaster (1988), las dunas más amplias del Namib se desarrollan en áreas donde las tasas anuales de transporte potencial de arena son bajas, en tanto que las dunas más pequeñas lo hacen donde las tasas son altas.

La arena va mejorando su clasificación a medida que es transportada por el viento. En las dunas valencianas, la selección de tamaños aumenta a medida que se progresa hacia el interior del campo de dunas (Sanjaume, 1985). Cuando cambia la intensidad del viento cambia también, como es obvio, el tamaño de la partícula transportada. Fryberger & Schenk (1981) demostraron que el tamaño de grano aumenta con la intensidad del viento y que los cambios de tamaño producidos por las variaciones de la intensidad del viento quedan preservados en los depósitos eólicos.

La relación entre el viento y la génesis de las dunas es muy compleja. Las formas que crea el viento dependen, por una parte, de la rugosidad, cohesión y tamaño de sedimento y, por otra, de la velocidad y turbulencia del aire, así como también de la humedad

atmosférica y de la cantidad y tipo de la cubierta vegetal (Fryberger, 1979). El flujo de arena y aire tiene una estructura bastante complicada como resultado de su turbulencia y de la formación de vórtices horizontales. La velocidad del flujo y, por tanto, de la fuerza de cizalla aumenta a barlovento y decrece a sotavento. En consecuencia, dado que la tasa de movimiento de arena está directamente relacionada con la fuerza de cizalla (que a su vez depende de la velocidad del flujo), la arena es transportada de la cara de barlovento a la de sotavento (Bagnold, 1941). En tanto que la duna crece, la arena que llega a la cresta mediante saltación desde la cara de barlovento, resbala por la de sotavento, por lo cual la pendiente de la misma va aumentando hasta que consigue su ángulo de reposo. Con el aumento continuado del transporte de arena, la cara de avalancha se convierte en la cara de sotavento de la duna (Goldsmith, 1985). Las líneas de corriente varían con la velocidad del viento, de ahí que las dunas adopten distintas formas. Con vientos de poca energía los perfiles de las dunas se alargan y se aplanan. Esto se debe a que la fuerza de cizalla no alcanza el valor crítico para la remoción y sólo se produce transporte desde barlovento a sotavento. Por el contrario, los vientos de fuerte intensidad incrementan la altura de la duna. Si además coincide que estos vientos van muy cargados de arena, la duna se hace más ancha y más alta por deflación a barlovento y acumulación a sotavento (Goldsmith, 1985).

Las dunas no crecen indefinidamente. Con flujos de viento y suministros constantes se alcanza la forma de equilibrio, de manera que la arena sale a la misma velocidad que entra en la duna. Algunas dunas adaptadas a regímenes de viento estacional o incluso diurno sufren cambios en la zona de la cresta, pero la forma básica permanece. Las dunas mayores tardan más en ajustarse a las nuevas condiciones medioambientales que las pequeñas, porque el volumen de arena que contienen requiere más tiempo para establecer una nueva forma de equilibrio. Un cambio en el régimen de viento puede provocar la superposición de un nuevo patrón dunar sobre el preexistente, lo que podría explicar el desarrollo de ciertas dunas compuestas y complejas.

3.3.1.4. Crecimiento de la vegetación

La vegetación juega un papel vital en la nucleación y el crecimiento de las dunas costeras, sobre todo de

las dunas secundarias (Klijn, 1990). Por un lado, introduce una rugosidad adicional a la superficie, lo que hace disminuir la velocidad del viento y su capacidad de transporte. Por otro lado, las plantas interceptan los granos en saltación y actúan como una superficie blanda que absorbe una gran cantidad de energía, favoreciendo la sedimentación. Experimentos realizados en Israel demostraron que la cantidad de arena atrapada en las dunas vegetadas es entre un 10% y un 50% superior a la sedimentación que se produce en las dunas sin vegetación (Goldsmith *et al.*, 1988).

El crecimiento vertical de las dunas parece estar relacionado, además, con la tolerancia de las especies pioneras al enterramiento, así como a su resistencia al calor, a la sequía, o a la limitación de nutrientes. La colonización vegetal del campo dunar queda representada por comunidades específicas que se disponen en bandas paralelas al límite playa-duna (ver figura 3.3.). Una simple variación en la densidad de vegetación incluso puede dar lugar a distintos tipos morfológicos de dunas (Short & Hesp, 1982). La tolerancia de esta vegetación al enterramiento, así como la capacidad de establecerse sobre restos de plantas previas (facilitación) hace que la colonización vegetal de estos ambientes por plantas especializadas sea rápida y efectiva, lo cual a su vez favorece el desa-

rollo dunar. Obviamente, los condicionantes climáticos (humedad-precipitación, temperatura, duración de la estación de crecimiento) influyen en la densidad de cobertura vegetal. Pero también la vegetación es vulnerable a la erosión del viento. Cuando la erosión eólica deja las raíces al descubierto, las plantas pueden morir (Tsoar, 1990; Arens, 1996).

El desarrollo de determinadas comunidades vegetales depende, según Múcher (1990), de una compleja interrelación de factores tales como: clima, microclima (exposición, relieve, distancia a la orilla, temperatura, evaporación), roca madre (incluyendo la profundidad de descalcificación), profundidad del nivel freático y acción antrópica (incluyendo aterramientos, cambios de usos del suelo y descenso del nivel freático por sobreexplotación). Existen ejemplos en los que, a pesar de la proximidad de sistemas dunares, los factores citados llevan al desarrollo de comunidades vegetales muy diferentes (Fraga & Roig, 2007). Por lo que respecta a la fauna, algunos animales pueden incrementar la erosión por ramoneo y excavación de madrigueras, pero otros organismos del suelo generan materia orgánica que permite el crecimiento de las hifas de los hongos y de los enlaces de las sustancias húmicas que estabilizan los granos de arena (Jungerius & Van der Meulen, 1988).



Figura 3.3

Bandas de vegetación formadas por plantas pioneras. Dunas de Bolonia (Cádiz).

Como consecuencia de todo lo anterior, la presencia y desarrollo de las dunas costeras están estrechamente relacionados con fenómenos geológicos, climatológicos e hidrológicos (Klijn, 1990). Los factores biológicos parecen depender de factores climatológicos y edafológicos. Pero hay que dejar claro que las dunas se forman cuando el volumen de arena que entra en el sistema sedimentario es superior al volumen de arena que sale del mismo. Ese exceso de arena es el que el viento puede transportar realizando una selección de tamaños según la intensidad del mismo. Las dunas se localizan fuera de la acción de los temporales ordinarios. Cuando hay temporales extraordinarios, la arena se ve desplazada hacia la playa sumergida, lo que disipa la energía de las olas y evitan mayores erosiones. Después en momentos de calma, la arena es devuelta a la playa emergida terminando el ciclo que caracteriza el equilibrio sedimentario de la playa. En períodos de recesión como el actual, con déficit de sedimentos, en los momentos de calma, el perfil no puede reconstruirse por falta de sedimentos, ya que los erosionados se desplazan hacia nuevos ámbitos o se quedan en zonas más profundas, por lo que la playa se hace más estrecha, las dunas más bajas y estrechas y, en muchas ocasiones, ya no ofrecen protección para las tierras que quedan por detrás de las mismas.

Los factores que controlan el equilibrio morfológico de las dunas son varios. Los más importantes, según Lancaster (1985), son: la posibilidad de suministro arenoso y las características del régimen de vientos, aunque el tamaño de grano, la clasificación del sedimento y la cubierta vegetal pueden ser significativos localmente. Este autor ha demostrado también que en las dunas transversales de los desiertos, un aumento de la intensidad del viento produce un considerable incremento en las tasas potenciales de arena desde la base hacia la cresta, lo que repercute en la posterior forma y tamaño de la duna. De acuerdo con Illenberger & Rust (1988), las tasas de acumulación en los campos dunares costeros son diez veces más altas que las tasas de las zonas continentales. Esto se debe a la mayor energía de los vientos costeros y al mayor suministro de arena procedente de la playa. Este suministro depende de la forma y anchura de la playa, de la naturaleza del flujo aerodinámico que cruza la playa y de la vegetación (Short & Hesp, 1982).

Por lo que respecta a la estructura interna, todas las dunas litorales transversales, sean del tipo que sean, presentan una geometría interna muy característica (ver figura 3.4), derivada de su crecimiento vertical y de su escasa migración horizontal (McKee, 1966). Los buzamientos de las láminas de *topset*, de barlo-



Figura 3.4

Laminación interna de una duna costera. Playa de Anllóns (La Coruña).

vento, suelen ser inferiores a 10°, mientras que en las láminas de *foreset*, de sotavento, los buzamientos suelen oscilar ente 29° y 33° (Bigarella, 1972). Sin embargo, cuando soplan vientos fuertes, la deposición de la arena en la cara de sotavento, de acuerdo con las investigaciones realizadas por Hoyt (1966), puede producirse de tres maneras distintas:

- La arena transportada por el viento hasta la cresta cae a sotavento.
- Si la acumulación en la cresta es rápida pueden producirse deslizamientos a sotavento.
- Por la acción de torbellinos que se generan también a sotavento y que pueden recoger material de esta vertiente y transportarla hacia arriba. Este mecanismo es responsable, además, de la deflación que se produce en las zonas interdunares. La anchura afectada por los torbellinos es igual a la altura de la duna. Por su parte, Sharp (1966) indicaba que además de los torbellinos, ciertos vientos oblicuos y, en determinadas condiciones topográficas, otras corrientes de aire, pueden afectar también a la vertiente de sotavento.

En un trabajo en el que comparaba las dunas de algunos sectores de los Estados Unidos, Brasil e Israel, Goldsmith (1973) comprobó que la distribución de los acimuts se relaciona mejor con los vientos prevalentes que con los dominantes, excepto en aquellas zonas en las que coinciden ambas direcciones. Asimismo, señaló la importancia que tiene el tipo de vegetación que sustenta la duna, con relación a la disposición de las estructuras internas. La correlación entre la densidad de vegetación y la proporción de estratos de bajo ángulo fue apuntada por Yaalon (1975). En ocasiones, la estructura interna de las dunas puede modificarse a causa de cambios climáticos (Bigarella, 1975). Cuando se producen dichos cambios, que afectan a las precipitaciones y en consecuencia a la vegetación que fija y coloniza las dunas, las estructuras originarias son sustituidas por otras de neoformación (estructuras de disipación).

3.3.2. Factores condicionantes de la dinámica y evolución del sistema dunar

Los sistemas dunares son altamente vulnerables a los cambios ambientales (factores biofísicos, fundamentalmente) y a la interferencia de la actividad humana. Un cordón dunar puede generarse y quedar completamente desarrollado en apenas unos

años, mientras que su degradación puede tener lugar durante meses o años, y su destrucción completa puede durar apenas unas horas. Por ello, la evaluación del estado de desarrollo y la tendencia de un sistema dunar debe consistir en el seguimiento periódico de las principales características que permiten obtener una idea aproximada de la calidad ambiental del conjunto de hábitat que lo conforman. Estas características o factores, expresados mediante variables, constituyen la base para la evaluación de la estructura del sistema dunar y de su dinámica (factores de función).

Desde un punto de vista general, las variables deben incluir los factores que involucran sus cambios morfológicos y sedimentarios (factores morfosedimentarios), su exposición y afección por los procesos litorales y marinos (factores de incidencia marina y litoral), la propia dinámica eólica responsable de la nucleación y crecimiento de las dunas (factores de incidencia eólica), el desarrollo vegetal y la madurez ecológica general del sistema (factores ecológicos y de cobertura vegetal), así como la acción humana. Esta última, muy importante, debe incluir las actuaciones que producen degradación o destrucción del sistema dunar (factores de presión antrópica), así como las actuaciones encaminadas a la protección y preservación de las características naturales del sistema dunar (factores de gestión y protección). A continuación se ofrece una lista de dichas variables.

3.3.2.1. Factores morfosedimentarios

El efecto de los procesos ambientales dominantes sobre la dinámica de las dunas costeras depende del desarrollo potencial del depósito sedimentario. Éste depende, entre otros factores, de las características de la unidad geomorfológica al que está asociado, por ejemplo, de la propia geometría del sistema dunar. Las variaciones morfológicas del complejo dunar se manifiestan a través de parámetros como su superficie, su longitud, la anchura del sistema dunar activo, la altura de las dunas (modal y máxima), la pendiente media de las dunas del sistema activo, o el volumen de arena presente en el complejo. El número de cordones es un indicativo de la evolución dunar, de modo que las costas progradantes, alimentadas históricamente por volúmenes importantes de sedimento arenoso, suelen presentar un mayor número de cordones.

El desarrollo dunar, especialmente el de los primeros cordones dunares, está muy influenciado por la continuidad lateral de los acúmulos arenosos. La pérdida de superficie ocupada por elementos morfológicos de acumulación de arena, así como la fragmentación del sistema dunar en pequeñas unidades aisladas y dispersas, modifica las condiciones ecológicas y geomorfológicas y acelera la degradación y eliminación de las estructuras de acumulación eólica. Los cordones discontinuos son mucho más vulnerables a la erosión costera o a la degradación por actividad humana que los cordones dunares continuos. Los pasillos pueden tener tanto origen natural (desbordamientos por el oleaje de temporal u “*overwashes*”) como antrópico (zonas de trasiego preferente de visitantes).

La superficie de las depresiones interdunares húmedas está muy condicionada por la proximidad del nivel freático a la superficie topográfica. La cercanía del freático a la superficie aumenta la cohesión entre las partículas de arena y dificulta el transporte eólico del sedimento, a la vez que favorece una mayor cobertera vegetal, disminuye la movilidad de las arenas y la pérdida sedimentaria del sistema.

El desarrollo y morfología de los frentes dunares costeros depende de forma muy directa de ciertas características del sedimento, tales como granulometría, forma, cohesión y densidad del grano de arena. Se considera que los diámetros de partículas menores aumentarán la fragilidad de la duna costera, ya que los sedimentos finos son más fácilmente transportados por el viento y, por tanto, favorecerán las pérdidas por deflación.

3.3.2.2. Factores de incidencia marina y litoral

Estos factores se refieren a la influencia de los procesos marinos y litorales en el desarrollo dunar. La playa constituye el área fuente de arena que da lugar a los sistemas dunares (Alcántara *et al.*, 2005). El estado de la playa es determinante en la cantidad de arena que es transportada por el viento, en el tamaño de grano de la arena (mejor si es más fino), en la facilidad del viento para removerla (mayor si la pendiente de la playa es suave), o en la disipación de energía del oleaje (mayor si la playa desarrolla barras submareales). Las playas disipativas reúnen todas las características que favorecen la generación de dunas y su protección posterior, mientras que las playas

reflectivas, de alta pendiente y granulometría gruesa, no son las más adecuadas para la formación de buenos complejos dunares costeros. La anchura de la zona intermareal determina la superficie expuesta al viento, y por tanto, el área fuente de arena para la generación de dunas. Paralelamente, la zona supramareal de la playa (playa seca) constituye la principal fuente de sedimento eólico a las dunas. Cuanto mayor sea su anchura, mayor alimentación arenosa habrá hacia las dunas y éstas alcanzarán mayor desarrollo. Además, la playa seca constituye el área de alimentación eólica de las dunas, por lo que si el tamaño de grano dominante en esa zona es fino, la exportación de arena será más eficaz y las dunas podrán crecer con mayor facilidad, o bien recuperarse con mayor rapidez de los episodios erosivos.

No obstante, la tendencia a medio plazo del sistema playa-duna condiciona el futuro de los complejos dunares costeros. Resulta, por tanto, fundamental conocer la tendencia costera al avance o al retroceso en los últimos años, así como la evolución de los aportes sedimentarios a la playa, a menudo manifestada mediante el aumento o la disminución de los afloramientos rocosos en la playa. El aporte sedimentario a la duna depende, lógicamente, del estado erosivo o acumulativo de la playa, así como de su tamaño de grano o del volumen de arena disponible, manifestado en muchas ocasiones por el número de barras existentes en la playa. Las barras inter y submareales constituyen la mejor defensa natural de las playas ante la actuación de oleajes energéticos. Además, la removilización del sedimento de las barras por el oleaje de mar de fondo facilita el transporte de arena a la playa, y por tanto, la alimentación de arena a las dunas. Por otro lado, los restos de *Posidonia oceánica* sobre la playa aseguran la protección de la misma, además de aportar naturalidad al sistema arenoso costero.

Independientemente de los aspectos submareales y del clima marítimo, la geomorfología de la costa arenosa puede verse afectada por procesos de erosión importantes ligados a la concurrencia de otros tipos de factores de difícil cuantificación (frecuencia de temporales según intervalos de altura de ola, frecuencia de fenómenos de gran energía comparada con el ritmo natural de recuperación sedimentaria de la playa, etc.).

Por tanto, conviene evaluar sobre el terreno los efectos erosivos reales del oleaje energético median-

te los efectos que este causa, y que se manifiestan especialmente en las roturas del primer cordón dunar (dunas secundarias), que a menudo produce desbordamientos o derrames hacia tierra (*overwash*). Estas roturas dan lugar a cortes en el cordón dunar, donde la topografía facilita que los siguientes temporales concentren su energía en estas zonas más debilitadas, en las que resulta muy difícil la colonización vegetal y la generación de dunas. De hecho, la primera evidencia de la acción erosiva del oleaje es la formación de escarpes verticales en la cara expuesta del primer cordón dunar (dunas secundarias). Habitualmente estos escarpes (ver figura 3.5) muestran raíces expuestas de las plantas pioneras (comúnmente barrón), así como indicios de movimientos de masas (desplomes y lenguas de arena), resultado de la inestabilidad gravitatoria provocada por un exceso de pendiente, como consecuencia de la excavación basal y descalce por el oleaje durante episodios de temporal marítimo. Las dunas secundarias afectadas por este proceso necesitan de un dilatado período de tiempo para su recuperación mientras que las dunas embrionarias, que pudieron ser barridas por el oleaje responsable de la erosión, tienen una mayor velocidad de recuperación, por

lo que esta variable se considera como recomendada para este hábitat.

3.3.2.3. Factores de incidencia eólica

Entre los factores que influyen en el transporte y sedimentación de arena por el viento se encuentra la densidad de vegetación (base de la clasificación de dunas propuesta por Hesp, 1988). La ausencia o escasez de cobertera vegetal es indicativa de condiciones físicas que dificultan la implantación y la colonización vegetal en el sistema dunar, como pueden ser excesiva velocidad del viento, exceso de sal en el aire, etc. La conexión eólica entre la playa y la duna se establece a partir de superficies de playa predominantemente arenosas (no cubiertas por gravas y/o conchas), en cuya zona alta crecen los aportes eólicos formando dunas embrionarias en crecimiento, favorecidas por la existencia de vegetación en la ladera de barlovento de la duna secundaria. La presencia de bioclastos y conchas en la playa seca incrementa la rugosidad superficial, modificando el perfil del viento así como la velocidad umbral a la que el sedimento es susceptible de ser transportado.



Figura 3.5

Escarpe vertical en dunas afectadas por erosión debida a oleaje de temporal. Playa del Retín (Cádiz).

Se disminuye así la movilidad de la arena y por tanto el volumen de sedimento transportado hacia las dunas embrionarias.

La morfología dunar influye en la sedimentación eólica, dando áreas de deflación o de erosión dunar (*blowouts*, ver figura 3.6), así como zonas de caída de la velocidad del viento y sedimentación. La presencia de *blowouts* y su desarrollo fragmenta el sistema dunar y lo hace más vulnerable. Además, las cubetas de deflación son formas derivadas de la erosión puntual de las dunas, por lo que su proliferación es indicativa de un predominio de la pérdida de arena que puede desembocar en la fragmentación del sistema dunar.

La alternancia de áreas de erosión y de sedimentación favorece la formación de pequeños mogotes o acumulaciones arenosas aisladas (*hummocks*, ver figura 3.7), que suponen una importante fragmentación del sistema dunar. Cuando la erosión eólica se concentra en puntos concretos, se excavan pasillos de deflación, cuyo crecimiento en número y dimen-

siones contribuye también a la progresiva fragmentación del sistema dunar: incrementan la fragilidad del cordón dunar al producirse puntos de ruptura en la continuidad del frente. De esta manera, los procesos erosivos eólicos se hacen más intensos.

El desarrollo del sistema dunar requiere de un eficaz transporte eólico desde el frente dunar hacia el interior. Por otro lado, para que las acumulaciones eólicas formen cordones dunares o mantos eólicos, deben ser consolidadas con el crecimiento de vegetación. De esta forma, con el tiempo, el sistema eólico crecerá, tanto por avance hacia el mar del frente dunar como por disminución de los *blowouts*, variables que son indicativas de la evolución del sistema dunar.

3.3.2.4. Factores ecológicos y de cobertura vegetal

Desde un punto de vista ecológico, el sistema dunar está compuesto por una sucesión de bandas de vegetación sucesivas e interconectadas. El mantenimiento



Figura 3.6

Blowout en dunas fijadas por pinos. El Puerto de Santa María.



Figura 3.7

Dunas en montículos o *hummocks*. Parque Nacional de Doñana.

y desarrollo de los tipos de hábitat dunares depende de la continuidad de las sucesiones vegetales y la conexión entre ellas. Las variaciones en la cobertura vegetal constituyen un buen indicador de la salud ambiental de los tipos de hábitat dunares, por lo que conviene realizar un seguimiento de esta variable, así como del tipo de especies vegetales que cubren tanto la playa seca (embriones dunares) como la duna secundaria y sus alrededores, a barlovento y sotavento.

Tal y como indican Ley *et al.* (2007), la capacidad de la vegetación de retener el sedimento disponible determina, entre otros factores, los incrementos de volumen sedimentario y el crecimiento potencial en altura de los cordones litorales. Una vez que la vegetación no es efectiva como pantalla eólica, la estructura sedimentaria estabiliza su altura y comienza a avanzar hacia tierra. Teniendo en cuenta esta interrelación entre geomorfología y vegetación, hay que contar con el tipo de vegetación instalada en la duna costera, ya que determinará el desarrollo y la morfología de la estructura sedimentaria. En este sentido, se consideran cuatro tipos de vegetación (ver tabla 3.5):

- a) Tipo III: representado por especies psammófilas capaces de dispersarse por el agua de mar y de

soportar altas tasas de enterramiento. Plantas perennes con capacidad de reproducción vegetativa o plantas anuales de verano, con adaptaciones foliares a las condiciones de salinidad, viento, insolación y temperatura de las zonas costeras. Favorecen la formación y el desarrollo de las estructuras de acumulación. Estas especies caracterizan al tipo de hábitat de dunas embrionarias, ya que son las que mejor se adaptan a los ambientes estresantes de la playa seca y constituyen las principales especies pioneras que dan lugar a los futuros acúmulos dunares embrionarios.

- b) Tipo II: herbáceas o leñosas perennes con un sistema radical bien desarrollado y reproducción sexual. Presentan adaptaciones en la estructura foliares a las condiciones de salinidad, viento, insolación y temperatura de las zonas costeras. No son susceptibles de ser dispersadas por el agua marina y son características de dunas semiestabilizadas. Favorecen la fijación de las arenas, disminuyendo los efectos de la deflación eólica pero no favorecen el crecimiento en potencia de las estructuras dunares.
- c) Tipo I: pequeñas herbáceas anuales de invierno con crecimiento rastrero o en roseta, susceptibles de ser enterradas o descalzadas a partir de

pequeñas movilizaciones de sedimento. Este tipo de vegetación incrementa su cobertura en condiciones de alta estabilidad del sustrato arenoso debido a una tasa muy baja de sedimentación/erosión, o por un aumento de compactación provocado por el pisoteo.

d) Tipo neófito: incluye los taxones vegetales introducidos recientemente por el hombre en la zona costera. Generalmente, presentan un comportamiento invasor (por ejemplo, *Carpobrotus edulis*), pudiendo llegar a desplazar a la vegetación natural.

TIPO I	TIPO II	TIPO III
- Anual - Hojas méxicas - Biomasa subterránea axonomorfa de poco grosor o barbadilla - Altura biomasa aérea < 15 cm	- Bianual o perenne - Hojas duras/suculentas/pubescentes - Biomasa subterránea gruesa y ramificada	- Resistencia al enterramiento - Órganos de reserva subterráneos - Altura biomasa aérea > 15 cm - Dispersión marina
<i>Aetheoriza bulbosa</i> <i>Cynodon dactylon</i> <i>Rumex tingitanus</i> <i>Cutandia maritima</i> <i>Pseudorlaya pumilla</i> <i>Senecio vulgaris</i> <i>Anacyclus radiatus</i> <i>Bromus rigidus</i> <i>Bromus diandrus</i> <i>Carduus meonanthus</i> <i>Emex spinosa</i> <i>Erodium cicutarium</i> <i>Hedypnois cretica</i> <i>Hypochoeris glabra</i> <i>Lagurus ovatus</i> <i>Medicago littoralis</i> <i>Medicago minima</i> <i>Sonchus oleraceus</i> <i>Sonchus tenerimus</i> <i>Scolymus maculatus</i> <i>Paronychia argentea</i> <i>Plantago coronopus</i> <i>Vulpia alopecurus</i>	<i>Artemisia crithmifolia</i> <i>Armeria pungens</i> <i>Crucianella maritima</i> <i>Helichrysum picardii</i> <i>Malcolmia littorea</i> <i>Linaria lamarckii</i> <i>Thymus carnosus</i> <i>Lotus creticus</i> <i>Pycnocomon rutifolium</i> <i>Reichardia gaditana</i> <i>Silene ramosissima</i> <i>Linaria pedunculata</i> <i>Ononis variegata</i>	<i>Cyperus capitatus</i> <i>Sporobolus pungens</i> <i>Calystegia soldanella</i> <i>Ammophila arenaria</i> <i>Elymus farctus</i> <i>Medicago marina</i> <i>Othantus maritimus</i> <i>Pancratium maritimum</i> <i>Eryngium maritimum</i> <i>Euphorbia paralias</i> <i>Polygonum maritimum</i> <i>Cakile maritima</i> <i>Salsola kali</i> <i>Euphorbia paralias</i>

Tabla 3.5

Especies de tipos funcionales de plantas de sistemas dunares activos del Golfo de Cádiz. (García Mora et al., 1999; Ley et al., 2007).

Otros indicadores de degradación ecológica del complejo dunar son la presencia de especies exóticas, las plantas que sufren exposición de raíces por disminución del sustrato arenoso en el frente dunar, o la eliminación antrópica de plantas. Las especies exóticas no ayudan al desarrollo dunar, favorecen la erosión del primer cordón dunar y desplazan a las demás especies beneficiosas para el desarrollo del hábitat. Por su parte, la existencia de raíces expuestas en la ladera de barlovento de la duna secundaria indica la preponderancia de los procesos erosivos y de descalce dunar por el oleaje, sobre los procesos acumulativos por retención de arena por las raíces de las plantas. Es, por tanto, un indicador

del déficit sedimentario del sistema dunar, que puede llevar con el tiempo a su desaparición. En cuanto a la eliminación artificial de plantas o de cobertura vegetal influye en la retención de arena y en el proceso de facilitación para nuevas implantaciones o para la colonización del hábitat. Supone una reducción de la densidad de especies fundamentales para el hábitat.

Por otro lado, la presencia de fauna de distinto tipo (invertebrados, reptiles, aves) en el sistema dunar constituye un indicador de su riqueza ecológica. Sin embargo, la proliferación de conejos es perjudicial para el mantenimiento y desarrollo del sistema du-

nar. Los conejos y otros roedores desarrollan madrigueras que pueden llegar a ser muy complejas, largas, ramificadas y en continuo crecimiento. El sistema de galerías desestabiliza la labor fijadora de las plantas, así como los acúmulos dunares, que pueden llegar a colapsar. El avance dunar, su desarrollo o su colonización son muy difíciles cuando existe una elevada proliferación de estos roedores en el sistema dunar.

3.3.2.5. Factores de presión antrópica

Entre los factores antrópicos más importantes que afectan al transporte de arena habría que reseñar la presión de visitantes y el pisoteo, así como el tránsito de vehículos por el sistema dunar. El trasiego de visitantes provoca la destrucción de plantas pioneras por pisoteo, proliferación de residuos contaminantes, compactación de la arena, etc. El deterioro de las dunas embrionarias es proporcional a la presión de visitantes, especialmente durante la estación estival. Obviamente, la frecuencia y presión antrópica de la playa y de las dunas asociadas dependen de la facilidad de acceso a la costa.

Por su parte, los vehículos que transitan por el sistema dunar activo apelmazan la arena, compactan los granos superficiales (que ya difícilmente vuelven

a ser transportados por el viento), destruyen la vegetación, impiden la formación de dunas embrionarias y favorecen la aparición de fenómenos de erosión hídrica. Como en el caso del acceso de visitantes a pie, el paso de vehículos está condicionado a menudo por la presencia de campings y aparcamientos cercanos al complejo dunar. Aunque en menor medida, el trasiego de caballos también provoca compactación de la arena, muerte de la vegetación, etc.

La cercanía a un núcleo turístico y la facilidad o dificultad de acceso al campo dunar suponen evidentes factores de riesgo. Los conjuntos dunares pueden ser degradados antrópicamente por extracción de arena, por el pastoreo, por la proliferación de caminos, por la simple ocupación por infraestructuras permanentes o por la acumulación de residuos. La extracción de áridos en playas y dunas es una actividad ilegal que resta sedimento al sistema y puede provocar el desequilibrio del balance sedimentario, lo que puede derivar en deflación, rebajamiento topográfico de las dunas, carencia de sedimento suficiente para la nucleación o mantenimiento de las dunas ya existentes, etc. El pastoreo del sistema dunar, especialmente con ovejas y cabras, supone un ramoneo que elimina la cobertera vegetal y por tanto, pone en peligro el mantenimiento o al menos el desarrollo del hábitat (ver figura 3.8). Las infraestructuras permanentes, como



Figura 3.8

Ramoneo de Plantas dunares por cabras (fotografía: Juan García de Lomas).

paseos, pasarelas, establecimientos de venta y/o alquiler de diversos productos, etc., afectan a la dinámica natural del sistema dunar activo, ya que impiden el crecimiento de los individuos dunares, bloquean el avance de dunas activas, generalmente se acompañan de eliminación total o parcial de dunas próximas a la infraestructura, suelen provocar contaminación o vertidos, etc. Entre otros efectos, los residuos sólidos urbanos desnaturalizan el sistema dunar y provocan la contaminación de las aguas subterráneas.

En la playa vecina, fuente de arena del sistema dunar, las dunas embrionarias, a partir de las cuales se alimentan los cordones principales, pueden ser destruidas por las labores de limpieza durante la estación de baño, o por la instalación de infraestructuras temporales. La limpieza de la playa elimina a menudo una parte de las plantas pioneras que dan lugar a las dunas embrionarias, así como a otros obstáculos vegetales nucleadores o captadores de arena, como los tapices de *Posidonia* acumulados en la playa seca. En cuanto a las infraestructuras temporales, como establecimientos de restauración, venta y/o alquiler de diversos productos, etc., afectan a la dinámica natural del sistema dunar del mismo modo que las infraestructuras permanentes, aunque sus efectos se concentran sólo en la estación estival, que sin embargo es la época del año en la que la arena se encuentra más seca y suelta, y por tanto, cuando las dunas podrían desarrollar mayor actividad eólica.

3.3.2.6. Factores de gestión y protección

Las labores de protección y gestión de los sistemas dunares tienden a minimizar los efectos negativos de las actividades humanas, o bien a favorecer el desarrollo ecológico y morfológico de los complejos dunares. Entre las medidas que favorecen la protección dunar se puede citar el control o la restricción del acceso a pie, el control de estacionamiento de vehículos, el control al paso de caballos, la concentración de los accesos a la playa mediante pasarelas, la revegetación de zonas con pérdida de cobertera vegetal, el control de la población de conejos, etc. La recuperación de zonas erosionadas se realiza mediante la instalación de captadores de arena en las zonas erosionadas. Cuando la erosión costera está asociada a la pérdida de arena en la playa que constituye la fuente de arena, el déficit sedimentario puede reducirse temporalmente mediante labores de regeneración artificial.

En cualquier caso, la protección del sistema dunar debe acompañarse de una base legislativa que regule los usos del complejo dunar. Dicha normativa, así como otras recomendaciones de uso, debe ser comunicada al público mediante un número suficiente de paneles informativos. Estas medidas deben acompañarse de un sistema de vigilancia que vele por el cumplimiento de la correspondiente normativa de usos.



4. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

4.1. DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA SUPERFICIE

4.1.1. Directrices para la cartografía y seguimiento de sistemas dunares

En el caso de los sistemas dunares, la información altimétrica resulta esencial para la caracterización del ecosistema en su conjunto. Por otro lado, dado el carácter altamente dinámico de los ambientes dunares y su gran capacidad de cambio, uno de los principales indicadores de su estado es la evolución morfológica temporal que experimenta en las últimas décadas o años, así como las variaciones que experimenta en la actualidad. Para ello es necesario aplicar técnicas cartográficas que cubran épocas históricas pasadas, así como técnicas que permitan una cartografía detallada y precisa del sistema dunar. Las técnicas cartográficas más utilizadas en el estudio de sistemas dunares son las siguientes:

a) Técnicas directas (topográficas de campo):

- Teodolito.
- Estación Total o distanciómetro.
- GPS diferencial (RTK-DGPS).

b) Técnicas indirectas (documentación y sensores remotos):

- Fijas:
 - Cartografía histórica (mapas y cartas náuticas).

- Indicadores históricos y arqueológicos.
- Fotografías desde tierra.

■ Móviles:

- Fotogrametría aérea.
- Imágenes de satélite.
- Radar de apertura sintética (SAR).
- Altimetría láser (LIDAR).

Cada una de estas técnicas posee diferentes características de operabilidad, resolución sobre el terreno, exactitud, coste, etc. En ese sentido, el informe EUROSION de la Comisión Europea (2004) elabora una evaluación aproximada del coste medio unitario de las principales técnicas empleadas en estudios costeros. La tabla 4.1 muestra una selección de resultados de dicho estudio para técnicas propias de la cartografía de sistemas dunares.

El **teodolito** es uno de los instrumentos utilizados tradicionalmente en topografía y cartografía. El equipo se acompaña de una mira graduada transportada por un operario con el fin de determinar las distancias y ángulos verticales y horizontales, desde el punto de estacionamiento del teodolito a diversos puntos a lo largo del sistema dunar. La repetición de los mismos perfiles en diversas fechas permite obtener la evolución morfológica de las dunas. La longitud máxima de medición viene determinada por el límite que puede alcanzar el operario que transporta la mira graduada.

Técnica cartográfica	Resolución	Coste unitario (€/km ²)
Estación total o GPS	0,1 m	100-200
Fotogrametría aérea	0,1 m	300-400
Imágenes de satélite: SPOT 5 IKONOS	2,5-5 m 1 m	5-8 10-13
Altimetría láser (LIDAR)	0,1 m	500-700

Tabla 4.1

Coste estimado de algunas técnicas de cartografía de sistemas dunares para zonas superiores a 100 km² (adaptado de Comisión Europea, 2004).

La **Estación Total** es un instrumento topográfico parecido al teodolito, que incluye un distanciómetro y un microprocesador. El distanciómetro emite un pulso láser que se refleja en un prisma transportado por un operario y regresa al instrumento, el cual proporciona una lectura automática inmediata de la posición del prisma. El microprocesador almacena las lecturas y permite su volcado posterior a un ordenador. Este equipo permite realizar medidas tridimensionales de posición en coordenadas relativas X, Y, Z muy precisas (orden subcentimétrico), lo que posibilita efectuar levantamientos topográficos 3D y realizar cálculos volumétricos con gran precisión.

En los años 90 se puso en funcionamiento el sistema **GPS (Global Positioning System)**, un sistema que permite calcular las coordenadas X, Y, Z de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de la recepción de señales emitidas desde una constelación de veintiocho satélites en órbita alrededor de la Tierra. El avance y perfeccionamiento de estos sistemas en los últimos años ha llevado a un gran incremento en su utilización para el seguimiento de formas costeras, como los sistemas dunares (Andrews *et al.*, 2002). En la actualidad, el sistema más empleado es el de GPS con corrección dinámica diferencial en tiempo real (*Real Time Kinematic* o RTK-DGPS), que consiste en el uso simultáneo de dos receptores GPS, uno como estación base y otro como receptor móvil, y una antena de radio para la transmisión de información entre ambos instrumentos. El receptor base se sitúa en un punto de coordenadas exactas conocidas, normalmente a partir de un vértice geodésico. El receptor móvil, normalmente transportado por un operario en una mochila o sobre un jalón, mide las coordenadas X, Y, Z de los puntos de la zona de estudio a través de los satélites, por un sistema equivalente a la triangulación y las corrige en tiempo real determinando el vector de posición entre ambos receptores (Morton *et al.*, 1993). El resultado son datos rápidos y precisos tanto en el posicionamiento horizontal como en el vertical, del orden de 2 a 3 cm. Estos datos van siendo almacenados a medida que se realiza el levantamiento, y su volcado posterior a un ordenador permite tratarlos con programas informáticos para calcular variaciones volumétricas, superficiales, etc. Este sistema permite realizar tanto perfiles como levantamientos 3D cubriendo amplias zonas dunares con gran densidad de puntos en poco tiempo. Una de las principales ventajas de la monitorización con GPS es que las

antenas de radio hacen innecesario el contacto visual permanente entre el punto de posicionamiento con la antena y el operario que porta el receptor.

La **cartografía histórica** representa la fuente de información de mayor recorrido temporal en los estudios de evolución de sistemas costeros. No obstante, la información histórica debe ser interpretada con cautela dada la escasa precisión de las técnicas cartográficas empleadas, por lo general, hasta finales del siglo XX. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la escala de la cartografía disponible no permite cuantificar variaciones topográficas de detalle, sino sólo tendencias generales a grandes rasgos en zonas donde los cambios hayan sido importantes. Otro punto problemático es la datación, ya que, si bien el año de publicación del mapa suele conocerse, las mediciones de campo en las que éste se basa pueden ser notablemente más antiguas.

En ausencia de cartografía histórica, o bien en combinación con ésta, el seguimiento de los sistemas dunares a largo y muy largo plazo se suele realizar a partir de fuentes de **información histórica y arqueológica**: elementos de origen antrópico originalmente ubicados en lugares apartados de los sistemas dunares y que en la actualidad aparecen cubiertos total o parcialmente por dunas móviles. El principal inconveniente de este tipo de indicadores es que proporcionan datos cualitativos de muy escasa precisión y que únicamente permiten establecer tendencias generales. Por otro lado, se trata de información muy fragmentada, tanto espacial como temporalmente. No obstante, si el indicador es una estructura antrópica reciente, en algunos casos se puede establecer con bastante precisión su posición inicial y, por tanto, la variación sufrida por el sistema dunar.

Las **fotografías desde tierra** son útiles para obtener una imagen cercana de determinadas dunas. Sin embargo, la escala de la imagen es muy variable a lo largo de una misma foto, por lo que no se pueden realizar mediciones en la imagen ni puede ser utilizada para fines cartográficos. No obstante, por lo general, la información cualitativa del terreno resulta más sencilla que en el caso de las fotografías verticales. Otra posibilidad es la realización de fotografías estereoscópicas horizontales de frentes móviles desde puntos de estacionamiento fijos. Este procedimiento, llamado *fotogrametría terrestre de objeto cercano*, esta siendo aplicado en la actualidad a fren-

tes dunares móviles y consiste en utilizar la diferencia de paralaje entre imágenes para calcular distancias horizontales y reconstruir un mapa de la superficie frontal de la duna en avance. La superposición de diversos mapas o superficies proporciona un mapa dinámico del frente móvil dunar (Arteaga & Sanjosé, 2004).

Las **fotografías aéreas verticales**, tomadas desde un avión, son aquellas en las que el eje óptico de la cámara se sitúa perpendicularmente al terreno. Son las más utilizadas, ya que proporcionan una panorámica similar a la que ofrecen los mapas. El área de estudio se cubre mediante una serie de pasadas o bandas paralelas del avión. El solapamiento entre fotografías consecutivas (generalmente de un 60%) permite obtener una visión tridimensional del terreno mediante su visualización a través de un equipo de lentes y espejos, llamado estereoscopio, que facilita la observación en paralelo de las dos fotografías o par estereoscópico. La geometría y el modo de adquisición de los pares estereoscópicos implica la existencia de una serie de distorsiones intrínsecas que afectan a las imágenes, cuyas consecuencias principales son las variaciones de escala entre fotos consecutivas y entre distintos puntos de una misma foto, así como el desplazamiento de los objetos de sus posiciones reales. Estas distorsiones pueden causar grandes errores al emplear fotogramas aéreos para cuantificar cambios morfológicos en sistemas dunares, de modo que las fotografías aéreas no pueden ser tratadas como mapas, y deben ser corregidas antes de utilizarlas en la determinación de variaciones de longitudes o áreas (ortorrectificación y georreferenciación). No obstante, la información histórica que proporcionan es muy interesante para el estudio de la evolución de sistemas costeros, ya que en España, las primeras fotografías de algunas zonas costeras datan del año 1947, si bien el primer vuelo con cobertura completa para toda la Península Ibérica es el llamado vuelo americano, realizado por el servicio cartográfico del ejército estadounidense en los años 1956 y 1957. Desde entonces, se han efectuado numerosos vuelos fotogramétricos de cobertura nacional, regional y local a distintas escalas, lo que proporciona un amplio recorrido temporal que hace a las fotografías aéreas extremadamente útiles en el establecimiento de tendencias evolutivas. Por otro lado, en el caso de las dunas una detallada fotointerpretación permite realizar una cartografía del tipo de hábitat muy ajustada a la realidad (Shanmugam & Barnsley, 2002).

En lo referente a las **imágenes de satélite**, los primeros sistemas de teledetección espacial se remontan a los años 60 del pasado siglo *i*. En general, constan de un sensor montado sobre una plataforma espacial (satélite) que orbita alrededor de la Tierra, de manera que el sensor capta la energía o radiación electromagnética procedente de la superficie del planeta. La radiación recibida por el sensor es transformada en niveles digitales y almacenada en forma de una imagen digital compuesta por una serie de *pixels* o celdillas, a cada uno de los cuales le corresponde un nivel digital. Para visualizar la imagen, los distintos niveles digitales se traducen en distintos niveles de gris o color, según el tipo de imagen. Los sensores de satélite son capaces de detectar radiación de diversas regiones del espectro, como el visible, ultravioleta, infrarrojo, etc. En los estudios costeros se suelen emplear únicamente las bandas correspondientes a las regiones del visible e infrarrojo. Sus ventajas radican en la posibilidad de cubrir extensas áreas y en el amplio período de registros de alta frecuencia disponible, ya que la monitorización de la superficie terrestre es continua desde los años 70 del siglo pasado (Chuvieco, 2000). No obstante, hasta finales de los años 90, los estudios evolutivos de zonas costeras a partir de satélite se han visto limitados por la baja resolución espacial de las imágenes (Ojeda, 2000). Los sensores más empleados son el Landsat-TM, con una resolución espacial de 30 m, el IRS-LISS, con una resolución de 25 m, y el SPOT-XS y SPOT-P, con resoluciones de 20 y 10 m respectivamente (Jayappa *et al.*, 2006). A partir de 1999, la comercialización de imágenes procedentes de satélites con sensores de muy alta resolución espacial ha abierto las puertas a estudios con un detalle similar al de las fotografías aéreas. En concreto, los satélites IKONOS (resolución de hasta 1 m) y QUICK-BIRD (0,5 m) presentan un gran potencial en este sentido, a pesar de la falta de recorrido temporal hacia fecha anteriores. Su principal inconveniente es el elevado precio de las imágenes, ya que se trata de satélites privados cuya tecnología resulta muy cara de mantener. Recientemente se está utilizando en estudios costeros la teledetección activa, principalmente con los sensores de tipo radar, que emplean radiaciones en la región de las microondas (Chuvieco, 2000). Entre ellos destaca el **Radar de Apertura Sintética (SAR)**, que proporciona modelos digitales del terreno en 3D.

En los últimos años se ha producido un gran avance en el desarrollo de los sistemas que emplean pul-

sos de luz láser para realizar levantamientos topográficos de precisión desde el aire. Esta técnica recibe el nombre genérico de **LIDAR** (*Light Detection and Ranging*), y en la actualidad constituye uno de los métodos más avanzados para evaluar los cambios topográficos en dunas a corto y medio plazo. La técnica consiste en determinar la distancia existente entre un avión sobrevolando la zona de estudio a unos 200-400 m de altura, y la superficie del terreno. Los datos de distancia obtenidos se combinan con información sobre la dirección de emisión de cada pulso y sobre la posición instantánea del avión en cada momento, lo que permite convertir las medidas de distancia a coordenadas X, Y, Z del terreno. Para ello, el avión va equipado con un GPS dinámico en modo de corrección diferencial y con un sistema de navegación inercial compuesto de acelerómetros y giroscopios con el fin de determinar su orientación y por tanto, la dirección del pulso láser. En el caso de los sistemas dunares (Mitasova *et al.*, 2005) los datos altimétricos procedentes de LIDAR ofrecen altos niveles, tanto de cobertura espacial como de precisión altimétrica, con lo que se garantiza la caracterización de las múltiples microformas presentes en dichos sistemas, posibilitándose igualmente una inmejorable capacidad de seguimiento de la dinámica dunar con la obtención de información multitemporal (Woolard & Colby, 2002). El tratamiento de la información del LIDAR permite la obtención de un Modelo Digital del Terreno (MDT) y un Modelo Digital de Superficies (MDS) con una resolución espacial de 1 m y una precisión altimétrica de entre 0,15 y 0,20 m (ver figura 4.1). La utilización simultánea de un

vuelo fotogramétrico con cámara digital permite la obtención de ortofotografías con resolución de 10 cm, además de beneficiarse de su carácter multispectral (visible e infrarrojo próximo) y una mayor resolución radiométrica (Ojeda *et al.*, 2007).

Todos estos sistemas de adquisición de datos topográficos y morfológicos permiten elaborar mapas temáticos de zonas dunares. Por desgracia, estos son todavía muy escasos en España, y no existe una simbología consensuada al respecto. No obstante, cabe citar algunos trabajos pioneros como el de Vanney *et al.* (1979), desarrollado en el Parque Nacional de Doñana (ver figura 4.2.), o el de Servera & Rodríguez (1996) en las Baleares.

Desde un punto de vista morfo-ecológico, hay que destacar el mapa realizado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía en Doñana (CMA, 1998), que incluye la cartografía de distintos ecotopos dunares (ver figura 4.3). En cualquier caso, en España no se ha abordado hasta la fecha la elaboración de una cartografía detallada de tipos de hábitat dunares adaptada a la subdivisión propuesta por la Directiva de Hábitats, labor pendiente que convendría cubrir con urgencia, al menos para los principales sistemas dunares costeros.

Sí que existen estudios particulares de evaluación cuantitativa de cambios morfológicos recientes experimentados por sistemas dunares costeros a partir de la aplicación de diferentes técnicas cartográficas. Aparte de los trabajos citados anteriormente, cabe destacar el elaborado por Pardo *et al.* (2005) en Va-

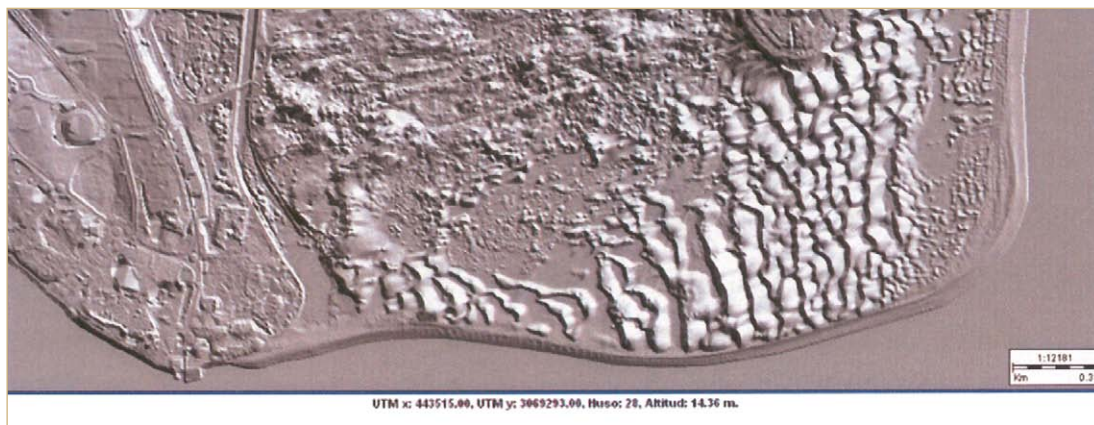
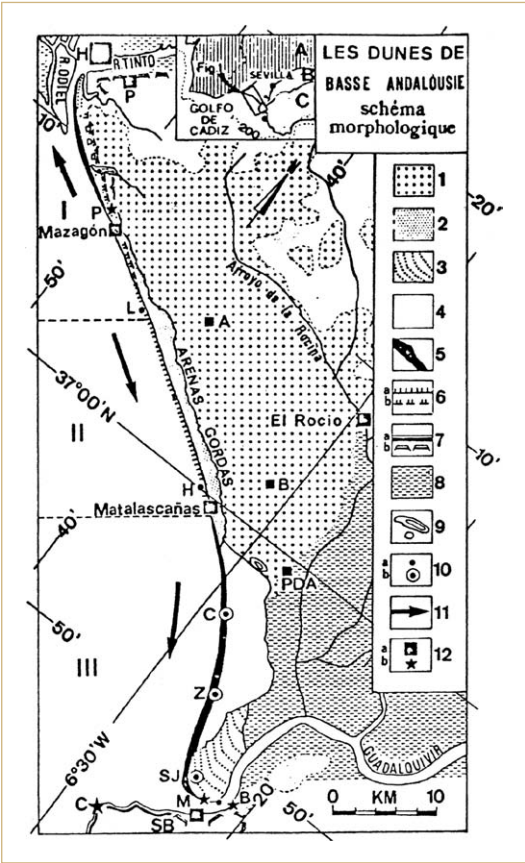


Figura 4.1

Imagen de sombras del campo dunar de Maspalomas (Gran Canaria) a partir de datos LIDAR (Ojeda *et al.*, 2007).



Simbología: 1, dunas antiguas (manto eólico); 2, dunas modernas fijadas por vegetación; 3, cordones litorales antiguos; 4, dunas progresivas; 5, dunas costeras en vías de edificación; 6, escarpes en dunas fósiles (a, vivos; b, muertos); 7, escarpes en depósitos eólicos plio-pleistocenos (a, vivos; b, muertos); 8, marismas; 9, lagunas; 10, Torres vigía históricas (a, en el mar; b, en el interior de las dunas); 11, dirección de la corriente de deriva litoral; 12, topónimos (a, localidades; b, faros).

Figura 4.2
Mapa geomorfológico general del sistema de dunas de Doñana (Vanney *et al.*, 1979).



Ecosesiones	Ecotopos	Código
Ecosesión del Manto Eólico de Dunas Activas	Formación palustre hipogénica estacional	30
	Formación palustre hipogénica interanual	29
	Depresión interdunar húmeda	28
	Depresión interdunar seca	27
	Duna transversal	26
Ecosesión de Playas Actuales	Duna transversal costera	25
	Duna costera	76
	Playa	75

Figura 4.3
Fragmento del mapa ecológico de Doñana, que diferencia diversos ecotopos dunares (CMA, 1998; modificado por Vallejo, 2007).

lencia (ver figura 4.4), o especialmente el magnífico trabajo elaborado por Vallejo (2007) en Doñana, y del que se puede apreciar un ejemplo en la figura 4.5.

4.1.2. Superficie favorable de referencia

4.1.2.1. Escala local

La superficie de los sistemas dunares varía enormemente de unas zonas a otras, a menudo sin que esta variable afecte de manera determinante a la riqueza morfológica, botánica, zoológica o a la biodiversidad. A diferencia de lo que sucede en otros ámbitos, la supervivencia de los tipos de hábitat dunares no siempre depende de una extensión mínima que éstos deban alcanzar, sino más bien de la eficaz interconexión entre los tipos de hábitat que conforman el sistema dunar.

De todos los tipos de hábitat dunares, los más vulnerables y determinantes para la conservación del sistema son los que conforman el frente de crecimiento principal: el 2110, Dunas móviles embrionarias y el 2120 Dunas móviles con arenisca (dunas blancas). Tanto unas como otras forman a menudo franjas estrechas, de apenas 10 m de anchura. Existen así sistemas dunares estables formados por estos

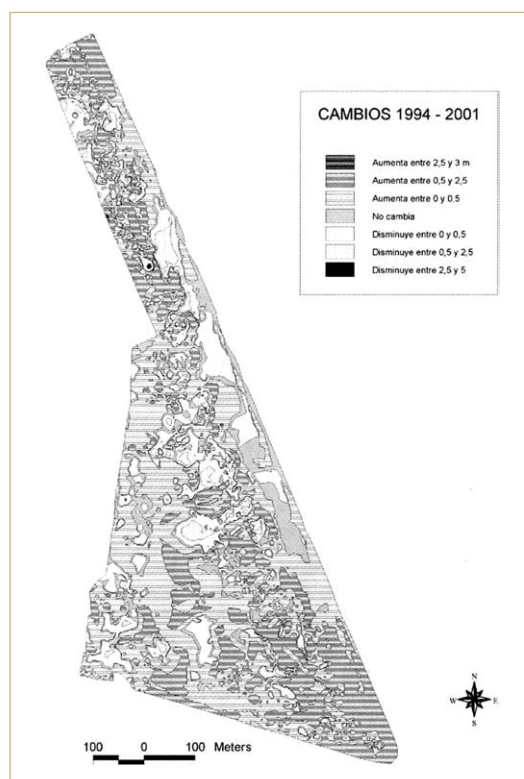


Figura 4.4

Mapa de cambios topográficos experimentados por el sistema dunar del Perellonet (Valencia) entre 1994 y 2001 a partir de análisis topográfico (Pardo, *et al.*, 2005).



Simbología: 1, duna costera; 2, duna transversal; 2.1., frente de avance; 2.2., duna longitudinal; 3, corral; 3.1., contraduna; 3.2., duna piramidal (Ojeda y Vallejo, 2004; Vallejo, 2007).

Figura 4.5

Ejemplo de delimitación de unidades y morfologías dunares de detalle en un modelo digital del terreno correspondiente a una zona del Parque Nacional de Doñana.

dos tipos de hábitat que en conjunto no alcanzan los 20 m de envergadura. Por otro lado, la longitud del sistema puede ser muy variable, desde apenas 100 m a varios kilómetros. En resumen, las dimensiones mínimas que puede alcanzar un sistema dunar estable en su expresión más sencilla puede evaluarse en unos 2.000 m² (0,2 ha), considerando como tal el formado por un conjunto de dunas incipientes y el primer cordón desarrollado con barrón. Este podría ser el valor mínimo indispensable para poder abordar labores de conservación o, mejor, de recuperación del sistema dunar, con el objeto de aumentar en lo posible su superficie.

La altura de las acumulaciones también varía según los tipos morfológicos. Los montículos vegetados aislados (*hummocks*), generalmente indicativos de una situación inestable, pueden tener alturas pequeñas, inferiores a 1 m. Sin embargo, los cordones con *Ammophila* suelen superar ampliamente este valor. Un sistema dunar con posibilidades de desarrollo sería aquél en el que los primeros cordones dunares vegetados con barrón tienen alturas medias no inferiores a los 0,5 m y preferentemente superiores a 1 m.

En estos casos, las labores de protección deberían centrarse fundamentalmente en las franjas ocupadas por las dunas embrionarias y por las dunas con barrón. Si ambas crecen, con el tiempo, el sistema dunar puede desarrollarse y dar lugar a la generación de nuevos tipos de hábitat. El crecimiento de un sistema dunar local se favorece si se protege la zona de aporte de arena, es decir, la playa de la que se alimenta. En ese sentido, los planes de protección o de recuperación dunar deberían incluir medidas de protección de la calidad de las playas colindantes, evitando en lo posible el trasiego de personas y vehículos que pudieran apelmazar la arena e impedir una continua alimentación natural de la playa a la duna.

A una escala de conservación mayor, muchos de los sistemas dunares menores calificados como con buen estado de conservación a lo largo del litoral peninsular suelen tener anchuras que superan los 50 m y longitudes de más de 1000 m. En este caso hablaríamos de sistemas dunares locales de extensión apreciable (superior a las 5 ha). Muchos de estos sistemas contienen varios cordones dunares separados por depresiones intradunares húmedas (tipo de hábitat 2190) que constituyen tipo de hábitat muy importante para la dinámica del sistema dunar y también

para el desarrollo vegetal y el aumento de la biodiversidad. Debe garantizarse entonces la alimentación hídrica de las depresiones, limitando en lo posible la sobreexplotación del acuífero circundante (y su contaminación). Esto se consigue mediante un perímetro de protección contra la explotación de aguas subterráneas que en ningún caso debería ser inferior a los 500 m de distancia tierra adentro.

Tanto los sistemas dunares más pequeños como los medianos deben tener libertad para poder desplazarse y colonizar otras áreas continentales aledañas, así como recibir la influencia biótica y abiótica de tipo de hábitat contiguos. En el caso de flechas arenosas y barreras (situación típica del litoral atlántico), la mayoría de los sistemas dunares se superponen sobre llanuras mareales vegetadas, bien correspondientes a marismas bien desarrolladas (Golfo de Cádiz, tipos de hábitat 1140, 1310, 1320 y 1330) como a pequeños sistemas estuarinos (costas gallega y cantábrica, tipo de hábitat 1130), o bien a marjales mediterráneos (tipo de hábitat 1410). En ambos casos debe protegerse el contacto entre los diferentes tipos de hábitat mediante una franja perimétrica de al menos 100 m hacia tierra del límite del último tipo de hábitat dunar en contacto con la marisma o el marjal. En el caso de dunas remontantes, comunes tanto en el litoral atlántico como especialmente en el mediterráneo, el límite interior está a menudo representado por relieves suaves cubiertos por arbustos o por bosques de distinto tipo, que también deberían ser protegidos para permitir el futuro avance o expansión del sistema dunar. Nuevamente, 100 m tierra adentro del límite de la duna más avanzada creemos que constituye una franja de seguridad mínima adecuada.

Por otro lado, es fundamental que dentro del sistema dunar exista una conexión total entre los distintos tipos de franjas o hábitat que lo componen (conexión transversal a la costa), así como la máxima continuidad longitudinal posible (continuidad paralela a la costa), evitando cualquier tipo de fragmentación entre tipo de hábitat o de sectores dentro de un mismo tipo de hábitat. Las dunas fijadas con distintos tipos de céspedes dan lugar a diferentes tipos de hábitat que se interdigitan y colonizan distintas zonas del sistema dunar. La movilidad y evolución natural de estos tipos de hábitat necesita de una continuidad natural ininterrumpida entre las diferentes franjas paralelas que constituyen el sistema dunar, así como de una extensión lateral suficiente para permitir la implantación y el desa-

rollo de nuevos parches o núcleos de hábitat que puedan colonizar sectores concretos del sistema.

Por último, cabe considerar los grandes sistemas dunares que constituyen referencias regionales por su extensión, variedad de tipos de hábitat y estado de conservación. Podrían incluirse en esta situación los sistemas dunares de Liencres (Cantabria), Punta Umbría y Doñana (Huelva), Trafalgar y Los Lances (Cádiz), Trabucador (Tarragona), Ses Salines (Mallorca), Devesa del Saler (Valencia), Pinet-Guardamar (Alicante), Corralejo (Fuerteventura) o Maspalomas (Gran Canaria), entre otros. En la mayoría de estos casos, la anchura de los sistemas dunares iguala o supera los 500 m, mientras que su longitud muchas veces sobrepasa los 2000 m. En cualquier caso, la superficie dunar en todos los casos supera las 30 ha. Estos sistemas dunares albergan una elevada variedad de tipo de hábitat interconectados entre sí, con una compleja dinámica que hace cambiar con el tiempo el porcentaje que ocupa cada hábitat dentro del sistema dunar.

4.1.2.2. Escala región biogeográfica

A escala de región biogeográfica no existe una evaluación de la superficie favorable de referencia relacionada con los tipos de hábitat dunares. Se trata de una carencia que habrá que suplir en el futuro mediante trabajos de investigación. No obstante, dado el carácter regresivo de la mayoría de los tipos de hábitat dunares en España, se recomienda considerar como superficie favorable de referencia, al menos, la superficie ocupada por estos tipos de hábitat en la actualidad.

Se ofrece a continuación un listado con una breve descripción de los sistemas dunares costeros principales que deben estar en un estado de conservación favorable. Se incluyen también algunos enclaves puntuales que, aunque no recogidos en la red Natura 2000, poseen una relevancia suficiente como para ser protegidos (se señalan en cursiva).

a) Región biogeográfica Atlántica

2. Laredo (Cantabria). Conformar un sistema dunar de gran interés ubicado en la flecha litoral del mismo nombre, pero afectada por importantes procesos de erosión que realimenta a pla-

yas colindantes, las cuales están generando nuevos elementos dunares. Se trata, por tanto, de un interesante proceso natural de retroalimentación que conviene preservar.

4. Liencres (Cantabria). Ubicado en la desembocadura del Pas, constituye el sistema dunar más importantes del litoral cantábrico. En la actualidad está sometido a una fuerte presión antrópica derivada de ocupación, dragado de la ría adyacente, etc.

5 + 1. *Santa María (Asturias)*. Campo de cierta entidad en vías de desmantelación por expansión urbanística (Flor, 2004).

5 + 2. *Rodiles (Asturias)*. Ubicado en la Ría de Villaviciosa, está formado por un conjunto de cordones dunares progradantes muy vulnerables a la erosión (Flor, 2004).

5 + 3. *Gijón (Asturias)*. Campo dunar que en el pasado tuvo una extensión considerable y que se encuentra en vías de desaparición por la ubicación de un parque de carbones (Flor, 2004).

8 + 1. *Los Quebrantos (Asturias)*. Este campo dunar, de cierta extensión, posee una escasa cobertura vegetal y presenta una importante movilidad (Flor, 2004).

9. Barayo (Asturias). Campo dunar de dimensiones destacables y relativamente bien conservado.

10. Frejulle (Asturias). Es uno de los sistemas dunares de mayores dimensiones y con mayor grado de naturalidad del litoral cantábrico.

10 + 1. *Foz (Lugo)*. Históricamente albergó importantes conjuntos dunares, destruidos por la erosión ligada a la construcción del puerto de Foz. No obstante, se conservan diversos ejemplos interesantes en parajes como Benquerencia, San Bartolomé de Barreiros, Rapadoira o Llás (Flor, 1992).

10 + 2. *Lago (Lugo)*. Localizado al Oeste de la población de San Ciprián, constituye un campo dunar bien conservado, constituido por varios cordones separados por depresiones interdunares (Flor, 1992).

12. Vivero (Lugo). Las dunas de Viveiro se ubican en una barrera confinante (Covas) y en la margen derecha de la ría, una playa con importantes dunas fijadas (Área Longa).

13. Área Longa (Lugo). Se trata de un conjunto de dos cordones dunares ubicados en el interior de la ría del Barqueiro, con un buen conjunto de crestas y surcos. Se encuentran en erosión y presionados por la actividad humana.

14. Ortigueira (La Coruña). La ría presenta dos conjuntos dunares extensos que conviene preservar: Cabalar y Ladrado.

16. Villarube-Pantín (La Coruña). Este sector posee unas dunas muy interesantes, formadas por dos conjuntos subparalelos de cordones dunares fijados por vegetación, que se formaron por progradación en dos etapas mayores.

18. Ponzas-Santa Comba (La Coruña). Este sistema presenta varios cordones dunares, y en Santa Comba aparecen incluso dunas parabólicas de gran interés morfodinámico.

27 + 1. *Castro-Queiruga-Reija (La Coruña)*. Está formado por varios conjuntos dunares que incluyen dunas lingüiformes, dunas remontantes y tabulares, con un comportamiento sedimentario estacional (Flor, 1992).

29. Corrubedo (La Coruña). Conforman un gran complejo de dunas móviles y fijas con vegetación, incluyendo una de las dunas móviles de mayor tamaño de la Península Ibérica.

30. La Lanzada (Pontevedra). Conjunto de dunas móviles con *Ammophila* bien conservadas en una playa todavía no transformada seriamente por la expansión urbanística.

30 + 1. *Donón (Pontevedra)*. Se trata de un conjunto dunar de extraordinaria importancia, con dunas activas, dunas parabólicas, depresiones de deflación y dunas remontantes (Flor, 1992).

33. Isla Cristina (Huelva). Sistema dunar de gran interés, con una sucesión de tipos de hábitat muy clara y didáctica. En algunas zonas constituye uno de los mejores ejemplos de conservación de sistemas dunares costeros y de co-

existencia más o menos equilibrada con el uso turístico de la playa aledaña.

34. El Rompido (Huelva). Importante conjunto de dunas móviles y fijadas por vegetación, con una interesante sucesión de tipos de hábitat.

35. Punta Umbría (Huelva). Amplio sistema dunar amenazado por la presión urbanística y por la elevada afluencia de visitantes.

37. Doñana (Huelva). El mayor y mejor sistema dunar de la Península Ibérica y uno de los más importantes de Europa. Su dinámica natural se está ralentizando en las últimas décadas debido a un exceso de cobertura vegetal, que puede llegar a ser negativa para el mantenimiento de la dinámica del ecosistema.

37 + 1. *La Algaida (Cádiz)*. Este gran sistema dunar, fijado por pinos de repoblación, ocupa la contraflecha de Doñana, en la margen Sur del Guadalquivir (Sanlúcar de Barrameda). Constituye parte del Preparque de Doñana (Parque Natural del Entorno de Doñana). Su amenaza principal es la alta afluencia de visitantes y de vehículos a motor.

38. Punta Candor (Cádiz). Importante sistema dunar en retroceso erosivo y presionado por la fuerte afluencia de visitantes.

39. San Antón-Valdelagrana (Cádiz). Formado por el sistema de dunas fijas con pinos de San Antón (parque periurbano, en El Puerto de Santa María), con fuerte presión de visitantes, y el debilitado sistema de dunas frontales de Valdelagrana-Playa de Levante, sometido a erosión marina. Este es el único sistema natural de dunas del sector septentrional de la Bahía de Cádiz.

40. El Chato-Sancti Petri (Cádiz). Las dunas de El Chato están sufriendo retroceso y una fuerte carga de visitantes, mientras que las dunas de Sancti Petri sufren erosión marina. Estas últimas están incluidas en el Parque Natural de la Bahía de Cádiz y constituyen el principal sistema de dunas móviles incluido en esta zona protegida.

42. El Palmar (Cádiz). Aunque está formado únicamente por uno o dos cordones de dunas con *Ammophila*, la ausencia de construcciones

en sus alrededores ha permitido que sobreviva en las últimas décadas. Conviene protegerlo frente a la previsible expansión urbanística de esta porción de la costa gaditana.

43. Trafalgar (Cádiz). Después de Doñana constituye probablemente el sistema dunar más importante del Golfo de Cádiz, especialmente por la variedad de su flora, morfologías dunares, biodiversidad, etc. Amenaza próxima por expansión urbanística.

44. La Hierbabuena (Cádiz). Constituye un sistema muy reciente, formado al abrigo de la expansión del dique del puerto de Barbate. En las dos últimas décadas ha crecido dando lugar a la generación espontánea de nuevos tipos de hábitat dunares. Resulta un laboratorio natural de primera importancia para estudiar y conocer las interrelaciones entre tipos de hábitat dunares y su evolución a corto plazo.

45. Zahara-El Cañuelo (Cádiz). Complejo dunar discontinuo formado fundamentalmente por dunas móviles con *Ammophila*, muy amenazado por expansión urbanística y presión de visitantes.

47. Punta Paloma (Cádiz). Extenso sistema compuesto tanto por dunas móviles como fijas por un amplio pinar de repoblación. Incluye una de las dunas solitarias más grandes de la Península Ibérica.

48. Los Lances (Cádiz). Constituye un sistema dunar muy completo, donde es posible identificar toda una sucesión de diferentes tipos de hábitat dunares desde el mar hacia tierra.

b) Región biogeográfica Mediterránea

50. Pals (Gerona). Se trata de un sistema amenazado por la expansión urbanística de sus zonas aledañas.

51. Castelldefels (Barcelona). Es el único reducto dunar asociado al delta del Llobregat, y muy amenazado por el urbanismo, la actividad industrial, etc.

52. Torredembarra (Tarragona). Sistema amenazado por expansión urbanística. Es el más

completo de la costa tarraconense (aparte del Delta del Ebro).

54. El Fangar (Tarragona, N del Delta del Ebro). Se encuentra en una costa en erosión acelerada. Incluye el único sistema de grandes barjanes activos de la Península Ibérica.

55. La Banya (Tarragona, S del Delta del Ebro). Constituye uno de los sistemas dunares más completos y con mayor variedad de hábitat de la costa mediterránea. Aunque está incluido en el Parque Natural del Delta del Ebro, recibe presiones indirectas por vertidos.

60. Devesa del Saler (Valencia). Probablemente el sistema dunar más rico de la costa mediterránea española. Recibe presión por visitantes y bañistas. Corre especial peligro el conjunto de dunas embrionarias y con *Ammophila*.

63. El Campello (Alicante). Compuesto por un sistema de gran riqueza de tipos de hábitat y amenazado por actividades urbanas y agrícolas.

65. Santa Pola-El Pinet (S de Alicante). Uno de los mayores sistemas dunares de la costa mediterránea, que incluye grandes edificios dunares no vegetados y muy dinámicos.

66. Guardamar (S de Alicante). Compuesto por una gran variedad de dunas vegetadas, incluido un extenso pinar mediterráneo.

68. La Manga (Murcia). Constituye el último reducto dunar de la restinga del Mar Menor, muy amenazado por la expansión urbanística.

69. Calblanque (Murcia). Sistema ubicado en un área poco transformada por el urbanismo, conviene preservarlo al máximo.

70. Cabo de Gata (Almería). Se trata de un amplio conjunto de dunas costeras asociado a un ambiente típicamente desértico y protegido con la figura de Parque Natural.

71. Punta Entinas-Sabinar (Almería). Combina un conjunto de dunas móviles y otras fijadas por vegetación, así como dunas fósiles, dando lugar a uno de los sistemas dunares con mayor registro histórico de la Península Ibérica, amenazado por la expansión urbanística.

72. Cabopino (Málaga). Constituye el único reducto dunar de relevancia en la costa malagueña, ya que todos los preexistentes han sido destruidos por la expansión urbanística.

72 + 1. *Estepona (Málaga)*. Se trata de uno de los escasos sistemas dunares que perviven en el litoral mediterráneo andaluz. Se extienden a lo largo de 3 km y presentan un desigual estado de conservación (Gómez-Zotano, 2007).

73. Torreguadiaro (Cádiz). Muy amenazado por la expansión urbanística, conforma el sistema de dunas de levante más importante de la costa de Alborán.

75. Cala Tirant (N Menorca). Amplio espectro de tipos de hábitat dunares.

75 + 1. *Morella (NE Menorca)*. Conjunto de diversos sistemas dunares en buen estado y algunos de ellos recuperados recientemente. Incluiría los parajes de Presili y S'Enclusa.

76. Es Grau (NE Menorca). Amplio espectro de tipos de hábitat dunares en un espacio reducido.

77. Son Bou (S Menorca). Gran variedad de tipos de hábitat dunares.

77 + 1. *Cala Macarelleta (SW Menorca)*. Constituye un interesante conjunto de dunas activas remontantes, amenazado por la actividad turística (Roig *et al.*, 2004).

78. Bahía de Alcudia (N de Mallorca). Sistema dunar amplio pero discontinuo y amenazado por la presión de visitantes y la expansión urbanística.

78 + 1. *Cala Mesquida (N de Mallorca)*. Incluye un sistema dunar de dimensiones hectométricas en progresiva degradación por la presión turística (Martín-Prieto *et al.*, 2007).

79. Ses Salines (SE de Mallorca). Conforman el sistema dunar más importante de Mallorca, con dunas móviles y con una amplia representación de dunas fijadas por pino mediterráneo. Presión de visitantes y urbanística.

80. Ses Salines (S Ibiza). Constituye el sistema dunar más importante de Ibiza, amenaza por urbanismo y con fuerte presión de visitantes.

81. Formentera. Sistema dunar poco transformado por la actividad humana, directamente asociado a la dinámica de playa.

c) Región biogeográfica Macaronésica

83. La Graciosa (N de Lanzarote). Esta pequeña isla situada al N de Lanzarote presenta dos ámbitos eólicos diferenciados: al N destaca por ser una de las pocas zonas donde hay aporte de sedimentos marinos y el único donde se desarrolla el tipo de hábitat 2110. Asimismo, en la playa de Las Conchas, se desarrollan dunas costeras con *Traganum moquinii*. Al sur de la isla, destaca la existencia de un gran manto eólico que recubre parcialmente los edificios volcánicos, con vegetación de *Polycarpeo niveae-Lotetum lancerottensis*, *Euphorbia paraliae-Cyperetum capitati* y *Traganetum moquini*.

85. Famara (Lanzarote). Otrora un gran campo de dunas, actualmente presenta una escasa entrada de sedimentos. Los tipos de hábitat principales son, en primera línea, dunas costeras con *Traganum moquinii*, seguidas de un manto eólico con vegetación de *Polycarpeo niveae-Lotetum lancerottensis ononidetosum hesperiae* y *Chenoleoideo tomentosae-Salsotetum vermiculatae* con abundancia de *Launaea arborecens*. Además, existen algunas dunas móviles sin vegetación de morfología barjana. Principalmente en el extremo occidental hay presencia de paquetes de arenas eólicas fosilizadas de varios metros de espesor sometidas a intensa actividad extractiva.

87. Tostón (NO de Fuerteventura). Representa un enclave con aportes de sedimentos marinos. En la zona de entrada de sedimentos aparece el tipo de hábitat de dunas costeras con *Traganum moquinii*, mientras que hacia el interior, predominan las láminas de arena estabilizadas de escaso espesor colonizadas por *Polycarpeo niveae-Lotetum lancerottensis*.

88. Corralejo (NE de Fuerteventura). Uno de los sistemas dunares más interesantes y dinámicos de las Islas Canarias. En la primera línea de costa, se desarrollan dunas costeras con *Traganum moquinii* y hacia el interior, progresan dunas móviles, principalmente barjanas, con escasa vegetación. Este campo de dunas, debido a la

cercanía de un importante núcleo turístico, está sometido a una alta presión de visitantes.

89. Jandía (S de Fuerteventura). Caracterizado por la existencia de paquetes de dunas fósiles, cuyos materiales son removilizados por el viento y alimentan el manto eólico actual. La vegetación la forman principalmente comunidades de *Polycarpeo niveae-Lotetum lancero-ttensis* y *Euphorbio paraliae-Cyperetum capitati*, destacando la alta presencia de *Launaea arbo-recens*.

95. Maspalomas (Gran Canaria). Complejo sistema de dunas, uno de los más importantes de las Canarias, con una gran diversidad de tipos de hábitat. En la zona de entrada de sedimentos se desarrollan dunas costeras con *Tragacanthum moquinii*, tras las cuales se forman extensos cordones de dunas móviles no vegetados con depresiones interdunares húmedas intercaladas (*slacks*). En la zona interior existen dunas costeras fijas con vegetación herbácea (principalmente *Cyperus capitatus*), además de otras arbustivas (*Launaea arborecens*) y arbóreas (*Tamarix canariensis*). Este campo de dunas, rodeado por urbanizaciones y equipamientos turísticos, está sometido a una alta presión de visitantes.

4.2. PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE UN SISTEMA DUNAR

4.2.1. Propuesta y descripción de factores y variables

La evaluación del estado de funcionalidad de los sistemas dunares y de su vulnerabilidad habitualmente se realiza mediante el control de un conjunto de parámetros o variables representativas (Bodéré *et al.*, 1991; Williams *et al.*, 1993 a, 1993 b, 1994, 2001; García-Mora *et al.*, 2001; Martínez-Vázquez *et al.*, 2006; Martín-Prieto *et al.*, 2007). En la actualidad no existe un índice o procedimiento unitario de evaluación de la vulnerabilidad y del estado de conservación de los tipos de hábitat dunares que sea totalmente aceptado por la comunidad científica.

Uno de los más completos desarrollados en España se debe a García Mora *et al.* (2001). Este índice,

que permite identificar el origen de la alteración para diseñar medidas correctoras, cuenta con cinco clases de variables: geomorfológico-sedimentarias, marinas, climáticas, antrópicas y ecológicas. Sin embargo, dicho índice está diseñado para las primeras dunas (embrionarias y con *Ammophila*) y por tanto, no se puede aplicar tal cual a otros tipo de hábitat dunares. Además, dichos autores introducen numerosas variables que son realmente constantes para cada sistema dunar, al menos a corto y medio plazo (fetch geográfico, pendiente de la base del sistema dunar, rango de marea, etc.), por lo que, aunque útiles para caracterizar de manera muy general un tipo de hábitat, o para comparar entre sí distintos sistemas dunares, no sirven para evaluar posibles cambios en el estado de conservación de un tipo de hábitat concreto. No obstante, aunque no pueda ser aplicado directamente en el ámbito del presente proyecto, el método de García Mora *et al.* (2001) constituye un buen planteamiento metodológico de partida que, con las oportunas modificaciones, puede servir como base conceptual para establecer un protocolo de evaluación general del estado de conservación de un sistema dunar completo.

En el presente apartado se presenta el procedimiento general de cálculo del índice de vulnerabilidad de un sistema dunar en general. El índice consta de diversas variables agrupadas según estos conjuntos de factores. Las variables han sido elegidas a partir de una selección de factores, en su mayoría utilizados ya previamente por otros autores (Arens & Wiersma, 1994; García Mora *et al.*, 2001; Martín-Prieto *et al.*, 2007; Vallejo, 2007, entre otros). El rango de valores que toma cada variable se basa en datos obtenidos por dichos autores y por información procedente del consenso de un grupo multidisciplinar e internacional de expertos en zonas costeras (Proyecto Dunes-ELOISE, V Programa Marco UE; García Mora *et al.*, 2001; Ley *et al.*, 2007). Se ha diferenciado entre variables de obligada cuantificación, cuyos valores oscilan entre 0 y 4, y variables recomendadas o de interés secundario, cuyos valores oscilan entre 0 y 2. Aunque se consideran las mismas variables para todos los tipos de hábitat dunares costeros, el carácter obligatorio/recomendado de cada variable cambia de unos tipos de hábitat a otros. Además, la valoración específica de cada tipo de hábitat necesitará la inclusión de nuevos parámetros y/o la eliminación de otros.

a) Factores morfosedimentarios

VARIABLE OBLIGATORIA	Puntos				
	4	3	2	1	0
1. Superficie del sistema dunar (en has)	> 500	> 100	> 50	> 10	< 10
2. Longitud del sistema dunar activo (en km)	> 20	> 10	> 5	> 1	> 0,1
3. Anchura del sistema dunar activo (en km)	> 2	> 1	> 0,5	> 0,1	< 0,1
4. Altura modal de las dunas del sistema dunar costero (en m)	> 6	> 3	> 2	> 1	< 1
5. Altura máxima de las dunas del sistema dunar costero (en m)	> 25	> 10	> 5	> 1	< 1
6. Pendiente media de las dunas del sistema dunar activo (en grados)	> 10	> 5	> 3	> 1	< 1
7. Número de cordones dunares paralelos	> 10	> 4	> 2	2	1
8. Grado de fragmentación del sistema dunar	Bajo	—	Medio	—	Alto

VARIABLE RECOMENDADA	Puntos				
	2	1,5	1	0,5	0
9. Superficie relativa de las depresiones interdunares húmedas	Media	—	Escasa	—	Ninguna
10. Volumen de arena del sistema dunar (en millones de m ³)	> 20	> 10	> 5	> 1	< 1
11. Granulometría media del sistema dunar (en unidades phi)	< -1	0	1	2	3
12. Profundidad media del nivel freático	Escasa	—	Media	—	Grande

Tabla 4.2

Propuesta y descripción de variables para el factor morfosedimentario.

■ Métodos de medición

La superficie (n.º 1), longitud (n.º 2) y anchura (n.º 3) del sistema dunar se pueden medir sobre un mapa topográfico, pero es preferible realizar la medición sobre fotografía aérea o sobre imagen de satélite, ya que se identifican mucho mejor los límites laterales del sistema dunar. Se puede utilizar la imagen escaneada y después un Sistema de Información Geográfica (especialmente recomendado para medir la superficie del sistema dunar y de las depresiones interdunares, n.º 9), o bien directamente una regla sobre la imagen y la posterior conversión a km. Debe medirse la longitud del primer cordón dunar (dunas secundarias) a lo largo de la zona en la que esté en contacto directo con la playa. En el caso de la anchura del sistema activo, debe medirse desde la línea donde aparecen las primeras manchas grises o parches de vegetación, hasta el límite en el que las dunas están totalmente cubiertas y fijadas por vegetación. La medición debe hacerse en dirección perpendicular a la del

primer cordón activo. La imagen aérea permite también identificar el número de cordones dunares paralelos (n.º 7), separados por depresiones interdunares, así como estimar el grado de fragmentación del sistema dunar (n.º 8).

En lo referente al cálculo del volumen de arena del sistema dunar (n.º 10), requiere del tratamiento informático de fotografías aéreas verticales georreferenciadas y con apoyo topográfico de campo (GPS). El método consiste en la elaboración de modelos digitales del terreno (MDT) y su comparación cuantitativa mediante SIG. Como el método es relativamente complejo y necesita de la aplicación de un software específico, se propone sólo como variable recomendada. Para una descripción detallada de dicho método aplicado al cálculo del volumen de arena de dunas costeras, se recomienda consultar el trabajo de Vallejo (2007).

Por otro lado, las medidas de altura modal (n.º 4), altura máxima (n.º 5) y pendiente media (n.º 6) de

las dunas deben realizarse en el campo. Se recomienda realizar un número representativo de medidas de altura de las cumbres dunares, preferentemente mediante GPS dinámico. En ausencia de este equipamiento, puede optarse por la Estación Total, aunque constituye un procedimiento mucho más laborioso. Posteriormente, se realiza el cálculo estadístico de la moda de la población de alturas. En cuanto a la granulometría (n.º 11), debe realizarse un muestreo de sedimento al pie de la duna secundaria (primer cordón, con *Ammophila*). Se tomarán varias muestras representativas a lo largo del frente dunar, que permitan caracterizar las variaciones laterales en la textura de la arena. Las muestras serán de al menos 500 gr y se tamizarán en seco mediante una columna simple de al menos 5 tamices. Posteriormente se calificará la muestra según el valor granulométrico modal, que generalmente representa a la gran mayoría de los granos de arena, ya que el viento es muy selectivo en el transporte de tamaños. Los resultados se expresarán en unidades phi ($= -\log_2$ del tamaño de grano en mm).

La profundidad media del nivel freático (n.º 12) puede estimarse a partir de datos de pozos próximos

al campo de dunas, o bien mediante campañas de prospección geofísica (eléctrica). Las fluctuaciones del nivel del agua en depresiones interdunares pueden ser bastante indicativas de las oscilaciones del nivel freático. Cerca de la playa, en la banda de dunas embrionarias, a veces una simple zanja excavada puntualmente con una pequeña pala puede ser suficiente para encontrar cerca de la superficie el nivel de saturación de agua.

■ Periodicidad de la medición

La mayoría de las variables correspondientes a este grupo cambian con cierta lentitud, por lo que, aparte de ligeras fluctuaciones estacionales, no cabe esperar rápidas variaciones de un mes a otro. Por ello, se recomienda realizar una única medición al año, preferentemente hacia el final del verano (septiembre), una vez que finaliza el período de mayor sequía y mayor movilidad eólica de la arena. En lo referente al nivel freático, convendría realizar mediciones (o estimaciones) estacionales, al finalizar el invierno, tras la época lluviosa primaveral y al final de la época estival.

b) Factores de incidencia marina y litoral

Tabla 4.3

Propuesta y descripción de variables para los factores de incidencia marina y litoral.

VARIABLE OBLIGATORIA	Puntos				
	4	3	2	1	0
1. Anchura media de la zona intermareal (en m)	> 100	> 50	> 25	> 10	< 10
2. Anchura media de la playa seca (en m)	> 75	> 50	> 25	> 10	< 10
3. Tendencia costera, últimos diez años (en m/año; avance: > 0; retroceso: < 0)	> 5	> 1	+1 a -1	< -1	< -5
4. Aporte sedimentario a la playa en los últimos diez años (estimación)	Crece	—	Igual	—	Disminuye
5. Afloramientos rocosos en la playa (en los últimos diez años)	No hay	—	Hay pocos	—	Aumentan
6. Superficie relativa de los cortes y roturas en el frente dunar debidos al oleaje	0%	< 5%	< 20%	< 50%	> 50%
7. Evolución de la anchura media de las roturas del frente dunar, en los últimos diez años	Igual o disminuye	—	Aumenta poco	—	Aumenta mucho
8. Granulometría del sedimento de la playa seca (en unidades phi)	> 2	—	0-2	—	< 0

► Continuación Tabla 4.3

VARIABLE RECOMENDADA	Puntos				
	2	1,5	1	0,5	0
9. Número de barras arenosas sumergidas o emergidas	> 1	—	1	—	0
10. Presencia de <i>Posidonia oceanica</i>	Continua	—	Estacional	—	No hay
11. Porcentaje de frente dunar con escarpes erosivos debidos al oleaje	0	< 25	< 50	< 75	> 75
12. Estado modal de la playa	Disipativo	—	Intermedio	—	Reflejante

■ Métodos de medición

La medida de la anchura intermareal (n.º 1) y de la anchura de la playa seca (n.º 2) puede hacerse mediante teodolito, estación total o cinta métrica, perpendicularmente a la línea de costa. En el primer caso debe medirse entre la línea de bajamar viva media y la cresta de la berma, o bien la marca de agua correspondiente a la pleamar viva media, mientras que la playa seca debe medirse desde la cresta de la berma hasta el inicio de las primeras dunas embrionarias.

La tendencia de la línea de costa durante los últimos diez años (n.º 3) debe hacerse por comparación de fotografías aéreas que cubran aproximadamente este período o el más aproximado posible. Las fotografías deben estar georreferenciadas. La medición se hará perpendicularmente a la línea de costa a lo largo de transeptos representativos, separados uno de otro un máximo de 50 m. Cada transepto se identificará en cada una de las fotos a partir de puntos fijos invariantes localizados hacia el continente y que permitan ubicar y orientar correctamente la línea de medición, de modo que sea la misma de un vuelo a otro. En cada transepto, se medirá la distancia en metros desde un punto de referencia que se identifique en todas las fotos y la línea de costa.

La determinación de la línea de costa puede ser problemática en costas mareales. Por ello, se recomienda medir simultáneamente las distancias a distintos indicadores identificables en las fotos como la marca de agua de la última pleamar, el límite del drenaje de la playa (línea que separa la playa húmeda de la playa seca), el nivel del mar instantáneo (contacto con el agua en el momento de realización de la

fotografía), así como el frente dunar (que en la foto se identifica como el límite entre la duna vegetada y la duna desprovista de vegetación). Este último indicador es especialmente útil y fiable en los estudios de erosión costera (Del Río, 2007). Una vez obtenidas las líneas de costa de las distintas fechas a partir de la digitalización de los indicadores, la comparación entre ellas y la cuantificación de las tasas de cambio puede realizarse mediante un SIG (Ojeda *et al.*, 2002). En ese caso se recomienda el uso del programa *ArcView*, a través de la extensión *Digital Shoreline Analysis System*, DSAS 2.2.1, desarrollada por el Servicio Geológico de EEUU (Thieler *et al.*, 2003).

La comparación de fotografías aéreas también sirve para estimar, cualitativamente, el aporte sedimentario a la playa (n.º 4), la variación de la anchura media de las roturas del cordón dunar (n.º 7) y la evolución de los afloramientos rocosos en la playa adyacente (n.º 5). En estos casos, se recomienda utilizar fotografías no georreferenciadas, que permitan obtener una imagen tridimensional (estereoscópica) del terreno y por tanto, tener una idea general del volumen de arena y su evolución en los últimos años. La observación de fotogramas con solape estereoscópico debe hacerse con un estereoscopio, no necesariamente de gran precisión (existen modelos de mano o de bolsillo).

La medición de la superficie de los cortes y roturas del frente dunar (n.º 6) se realiza mediante su cartografía a partir de fotografías aéreas georreferenciadas y tratadas mediante un SIG. También puede estimarse mediante inspección de campo, aunque la resolución del método, especialmente en el cálculo del porcentaje de cordón afectado por los cortes,

puede ser muy baja y por tanto insuficientemente representativa.

La granulometría del sedimento de playa seca (n.º 8) se estimará tal y como se indicó para la variable n.º 11 del grupo de factores A. Para la cuantificación de las barras en la playa (n.º 9) la técnica más adecuada consiste en combinar perfilamientos topográficos de playa con batimetrías de la zona sumergida hasta unos 10 m de profundidad (en playas no excesivamente energéticas). Conviene realizar las campañas al final de la época invernal. No obstante, ante la dificultad de llevar a cabo este tipo de mediciones, se puede obtener una cierta idea del número de barras mediante inspección de fotografías aéreas que se hayan tomado entre el final del invierno y el principio de la primavera, ya que a menudo se distinguen a través del agua, al menos las más próximas a la costa. La identificación de barras intermareales debe hacerse sobre el terreno, en las mismas fechas y condiciones de bajamar viva. Idéntico procedimiento requiere la estimación de presencia o no de restos de *Posidonia oceanica* (n.º 10).

El porcentaje de frente dunar afectado por escarpes erosivos (n.º 11) necesariamente debe medirse mediante inspección sobre el terreno, ya que los escarpes verticales en el frente de las dunas secundarias difícilmente se reconocen mediante sensores remotos. Para ello debe recorrerse el frente dunar y medirse con una cinta métrica, un teodolito o mediante Estación Total la longitud de frente afectada por los escarpes. Se recomienda realizar esta operación al final del invierno o principios de la primavera. El resultado se expresa como porcentaje de la longitud total del tramo dunar considerado.

Por último, en lo referente al estado modal de la playa (n.º 12), conviene medir la pendiente transversal de la playa al menos dos veces al año, preferentemente en verano e invierno. La pendiente debe medirse desde el contacto entre la playa alta con las primeras dunas embrionarias hasta el nivel medio de bajamar viva. Puede hacerse con teodolito, estación total o bien con cinta métrica y nivel.

Si la pendiente media de la playa es inferior a 3°, con un tamaño de grano fino, y estas condiciones se mantienen tanto en verano como en invierno, la playa puede considerarse como disipativa. Si la pendiente es superior a 6°, con un tamaño de grano medio o de arena gruesa, y estas condiciones se mantienen tanto en verano como en invierno, la playa puede considerarse como reflectiva. Si las condiciones son intermedias entre estos estados, o bien si la playa se comporta como disipativa en invierno y reflectiva en verano, consideraremos a la playa como intermedia.

■ Periodicidad de la medición

Las variables que usan la comparación entre fotografías aéreas (tendencia erosiva, aporte sedimentario a la playa, variación de los afloramientos rocosos en la playa, o evolución de la anchura media de las roturas del frente dunar) necesitan una única determinación cuando comience el plan de seguimiento. No obstante, cada vez que la administración (nacional, regional o local) realice un nuevo vuelo, deberán repetirse las mediciones sobre los nuevos fotografías, con el objeto de controlar las tendencias de estas variables a escala plurianual.

Existe otro conjunto de variables que necesitan de una sola medición anual en determinada época del año. Así, la anchura de la zona intermareal o el muestreo de arena de la playa para la determinación granulométrica deberán hacerse a finales de verano (principios de septiembre), mientras que la estimación de los cortes y roturas del frente dunar, el número de barras arenosas sumergidas o el porcentaje de frente dunar con escarpes erosivos habrá que determinarlos a finales de invierno (comienzos de marzo).

El resto de las variables requieren una periodicidad semestral. Así, la anchura de la playa seca, la estimación del estado modal de la playa o la presencia de *Posidonia oceanica* deberán evaluarse al final del verano (comienzos de septiembre) y al final del invierno (comienzos de marzo).

c) Factores de incidencia eólica

VARIABLE OBLIGATORIA	Puntos				
	4	3	2	1	0
1. Clasificación de Hesp (1988)	Fa	Fb	Fc	Fd	Fe
2. Porcentaje de playa seca ocupado por dunas embrionarias	> 50	< 50	< 25	< 5	0
3. Porcentaje de superficie dunar ocupado por <i>blow-outs</i>	< 5	> 5	> 10	> 20	> 40
4. Porcentaje de superficie dunar ocupado por mogotes o <i>hummocks</i> arenosos	< 5	> 5	> 10	> 20	> 40
5. Porcentaje de la duna secundaria ocupado por pasillos de deflación	< 5	< 10	< 25	< 50	> 50
6. Profundidad de los pasillos de deflación, en porcentaje de altura de la duna secundaria	< 5	< 10	< 25	< 50	> 50
7. Tendencia del frente dunar, últimos 10 años (en m/año; avance: > 0; retroceso: < 0)	> 5	> 1	+1 a -1	< -1	< -5
8. Aumento/disminución de la anchura de los blowouts (en %, últimos 10 años)	< -20	< -10	-10 a +10	> 10	> 20

VARIABLE RECOMENDADA	Puntos				
	2	1,5	1	0,5	0
9. Superficie de la playa seca cubierta por gravas y/o conchas	0	< 5	> 5	> 25	> 50
10. Porcentaje de ladera de barlovento de la duna secundaria cubierta de vegetación	> 90	> 60	> 30	> 10	< 10
11. Porcentaje de superficie dunar cubierto por mantos eólicos sin consolidar	< 5	> 5	> 10	> 25	> 50
12. Tasa de transporte eólico de arena hacia el interior del sistema dunar	Alto	—	Medio	—	Bajo

Tabla 4.4

Propuesta y descripción de variables para los factores de eólica.

■ Métodos de medición

La mayoría de las variables de este grupo consisten en la estimación de la superficie que ocupa determinada morfología o indicador de actividad eólica: cobertera vegetal (bien en general, siguiendo la clasificación de Hesp, 1988 (n.º 1), o bien en la ladera de barlovento de la duna secundaria, n.º 10), *blowouts* (n.º 3), mogotes o *hummocks* (n.º 4), pasillos de deflación (n.º 5), mantos eólicos (n.º 11), dunas embrionarias en la playa seca (n.º 2), acumulaciones de gravas o conchas en la playa (n.º 9), etc. En el apartado 4.1.1 se han descrito distintos métodos para cuantificar este tipo de variables. En este caso, quizá el procedimiento más rápido y eco-

nómico consiste en cuantificar arealmente estas superficies mediante su cartografía a partir de fotografías aéreas georreferenciadas de alta resolución (1:5.000) y tratadas mediante un sistema de información geográfica para el cálculo de su extensión. No obstante, también puede estimarse mediante inspección de campo, aunque la resolución del método puede ser muy baja y por tanto insuficientemente representativa.

En cualquier caso, la medición de la profundidad de los pasillos de deflación (n.º 6) hay que medirla obligatoriamente sobre el terreno, mediante Rstación Total, teodolito, barra graduada (jalón) o cinta métrica. Hay que medir la máxima profundidad del

pasillo con respecto a la cota media de la base de las dunas circundantes, y expresarla como porcentaje de la altura media de las cumbres de las dunas con *Ammophila* de ese mismo cordón. La inspección de campo también ayudará también a evaluar cualitativamente la tasa de transporte eólico hacia el interior del sistema dunar (n.º 12), por la inexistencia de obstáculos topográficos, vegetales o antrópicos que puedan impedir esta comunicación eólica, y por la existencia de lenguas de arena eólica móvil que penetren hacia los cordones más internos.

Por último, la tendencia del frente dunar (n.º 7) y la variación de los blowouts (n.º 8) en los últimos diez años se realizará mediante comparación de fotogra-

fías aéreas, de la misma manera que se ha explicado en el grupo de factores B. En el caso de la delimitación del frente dunar se utilizará como marcador el contacto entre la playa y la primera duna vegetada.

■ Periodicidad de la medición

Todos ellos se medirán con una periodicidad anual, preferentemente hacia el final del invierno (comienzos de marzo). En cuanto a las variables que usan la comparación entre fotografías aéreas (n.ºs 7 y 8), necesitan una única determinación cuando comience el plan de seguimiento, que se repetirá cada vez que se realice un nuevo vuelo fotogramétrico.

d) Factores ecológicos y de cobertera vegetal

VARIABLE OBLIGATORIA	Puntos				
	4	3	2	1	0
1. Cambio en la cobertera vegetal, en los últimos 10 años (variación de porcentaje de duna cubierta).	> 25	> 10	+10 a -10	< -10	< -25
2. Continuidad en las sucesiones vegetales	Total	—	Discontinua	—	Nula
3. Conectividad a escala de paisaje entre distintos hábitat	Elevada	—	Media	—	Escasa
4. Porcentaje de especies de tipos I y II en los 100 m a sotavento de la duna secundaria	> 75	> 50	> 25	> 10	< 10
5. Porcentaje de especies de tipo II a barlovento de la duna secundaria	> 60	> 30	> 15	> 5	< 5
6. Presencia de conejos	Ninguna	—	Esporádica	—	Elevada
7. Presencia de invertebrados y reptiles en el sistema dunar	Frecuente	—	Esporádica	—	Nula
8. Presencia de nidos de aves costeras en el sistema dunar	Frecuente	—	Esporádica	—	Nula

VARIABLE RECOMENDADA	Puntos				
	2	1,5	1	0,5	0
9. Porcentaje de especies exóticas en los cordones dunares activos	0	< 1	< 5	< 15	> 15
10. Porcentaje de plantas con raíces expuestas en el frente dunar	< 5	> 5	> 15	> 25	> 50
11. Porcentaje de playa seca cubierto por especies de tipo III	> 50	> 25	> 15	> 5	< 5
12. Porcentaje de eliminación antrópica de cobertera vegetal	< 5	> 5	> 10	> 25	> 50

Tabla 4.5
Propuesta y descripción de variables para los factores ecológicos y de cobertera vegetal.

■ Métodos de medición

El cálculo del porcentaje de especies de los tipos I, II y III (variables n.º 4, 5 y 11) se realizará mediante estimación visual de la superficie que ocupan estas plantas en las correspondientes zonas y el posterior cálculo del porcentaje correspondiente, en varios lugares representativos. El mismo método puede aplicarse a la estimación del porcentaje de especies exóticas (n.º 9), de plantas con raíces expuestas (n.º 10) o de zonas donde se reconozca una eliminación antrópica de la cobertura vegetal (n.º 12). La inspección visual del campo dunar permitirá también identificar madrigueras de conejos (n.º 6), invertebrados y reptiles (n.º 7) o nidos de aves costeras (n.º 8). Igualmente, el reconocimiento de campo ayuda a estimar la continuidad de las sucesivas bandas vegetales (n.º 2) o la conectividad (o falta de interrupciones) entre los distintos tipos de hábitat dunares (n.º 3), aunque en este caso también se puede utilizar la fotografía aérea más reciente disponible.

En lo referente a las variaciones de la cobertura vegetal en los últimos diez años (n.º 1), se utilizarán fotografías aéreas, según el procedimiento descrito en los apartados anteriores.

■ Periodicidad de la medición

Las variables relacionadas con la identificación visual de campo de especies vegetales, así como la continuidad de sucesiones vegetales y la conectividad entre tipos de hábitat, se medirán con una periodicidad anual, preferentemente hacia el final del invierno (comienzos de marzo). La presencia de conejos, invertebrados o aves, así como la identificación de huellas de eliminación antrópica de plantas, se hará mediante un muestreo mensual en fines de semana, a media mañana, durante todo el año, especialmente en verano. Por último, el cambio de cobertura vegetal en los últimos diez años se estimará una sola vez, al comienzo del seguimiento, hasta que se realice un nuevo vuelo fotogramétrico.

e) Factores de presión antrópica

VARIABLE OBLIGATORIA	Puntos				
	4	3	2	1	0
1. Presión de visitantes y pisoteo (número de visitantes y frecuencia)	Baja	—	Moderada	—	Alta
2. Tránsito de vehículos por el sistema dunar	Ninguno	—	Alguno	—	Elevado
3. Camping, aparcamiento	No hay	—	Lejano	—	Cercano
4. Dificultad de acceso, distancia a núcleo turístico	Alta	—	Moderada	—	Baja
5. Extracción de áridos en playa y duna	Nula	—	Ocasional	—	Frecuente
6. Uso ganadero y pastoreo del sistema dunar vegetado	Nulo	—	Ocasional	—	Frecuente
7. Porcentaje del sistema dunar activo ocupado por infraestructuras permanentes	0	< 10	< 25	< 50	> 50
8. Densidad de la red de caminos	Nula	—	Moderada	—	Alta

VARIABLE RECOMENDADA	Puntos				
	2	1,5	1	0,5	0
9. Porcentaje de sistema dunar ocupado por residuos y basuras	0	< 5	< 25	< 50	> 50
10. Frecuencia de limpieza de la playa seca	Nula	—	Moderada	—	Alta
11. Paseos a caballo sobre el sistema dunar	Ninguno	—	Alguno	—	Elevado
12. Porcentaje del sistema dunar activo ocupado por infraestructuras temporales	0	< 10	< 25	< 50	> 50

Tabla 4.6

Propuesta y descripción de variables para los factores de presión antrópica.

■ Métodos de medición

La presión de visitantes y las huellas de pisoteo (n.º 1), el tránsito de vehículos (n.º 2), el tránsito de caballos (n.º 11) o la dificultad de acceso al sistema dunar (n.º 4) se estimarán visualmente (densidad de visitantes y bañistas que frecuentan la playa seca, huellas del paso de vehículos, huellas de caballos, viales asfaltados, indicadores, señalizaciones, etc.). La inspección visual también permitirá estimar muchas de las demás variables, como la existencia de camping o aparcamiento cercano (n.º 3), las huellas de extracción de arena (n.º 5), el pastoreo en las dunas (n.º 6, bien por identificación visual directa o bien por el reconocimiento de huellas y restos asociados), los sectores dunares ocupados por infraestructuras permanentes (n.º 7) o temporales

(n.º 12), o la superficie ocupada por residuos y basuras (n.º 9). La frecuencia de limpieza de la playa seca (n.º 10) requiere una visita periódica, mientras que la densidad de red de caminos (n.º 8) puede hacerse combinando la inspección de campo con el análisis de la fotografía aérea más reciente.

■ Periodicidad de la medición

Las variables n.ºs 1, 2, 5, 6, 9 y 11 se muestrearán mensualmente, en fines de semana a media mañana, durante todo el año, especialmente en verano. Las variables n.ºs 7, 10 y 12 se monitorizarán con la misma periodicidad pero sólo durante la estación estival. Las variables n.ºs 3, 4 y 8 se estimarán anualmente, a finales de verano.

f) Factores de gestión y protección

VARIABLE OBLIGATORIA	Puntos				
	4	3	2	1	0
1. Control de paso y estacionamiento de vehículos	Permanente	—	Estacional	—	Nulo
2. Instalación de captadores de arena en el frente dunar	Frecuente	—	Esporádica	—	Nula
3. Control de acceso, aislamiento, cerramiento	Total	—	Moderado	—	Ausente
4. Número de pasarelas de acceso elevadas (por cada 500 m de longitud de dunas)	> 5	3-4	2	1	0
5. Revegetación de áreas móviles	Frecuente	—	Esporádica	—	Nula
6. Paneles informativos (n.º por cada 500 m de longitud de sistema dunar)	> 5	3-4	2	1	0
7. Protección legislativa	Elevada	—	Menor	—	No hay
8. Vigilancia	Permanente	—	Estacional	—	Nula

VARIABLE RECOMENDADA	Puntos				
	2	1,5	1	0,5	0
9. Regeneración artificial de la playa	Periódica	—	Esporádica	—	Nula
10. Control de paso de caballos	Permanente	—	Esporádico	—	Nulo
11. Plan de control de la población de conejos	Permanente	—	Esporádico	—	Nulo
12. Plan de ordenación de usos que incluye la protección dunar	Sí	—	Parcial	—	No

Tabla 4.7

Propuesta y descripción de variables para los factores de gestión y protección.

■ Métodos de medición

Algunas de las variables de este grupo, como la existencia de algún tipo de figura legal de protección (n.º 7), o de planes de control de conejos (n.º 11) o de ordenación de usos (n.º 12), requieren un trabajo de gabinete y consulta a las autoridades ambientales locales y autonómicas. La inspección visual periódica permitirá identificar controles de paso y estacionamiento (n.º 1), controles de acceso y cerramientos (n.ºs 3 y 10), instalación de captadores de arena (n.º 2), revegetación de arenas móviles (n.º 5), labores de regeneración de la playa (n.º 9), existencia de paneles informativos en buen estado (n.º 6), o buen funcionamiento de un sistema de vigilancia y guardería (n.º 8). La cuantificación del número de pasarelas por cada 500 m de longitud de duna (n.º 4) puede hacerse sobre fotografías aéreas muy detalladas (1:5000 a 1:10.000) muy recientes, o mejor mediante el recorrido a pie del sistema dunar.

■ Periodicidad de la medición

Las variables relacionadas con normas y planes (n.ºs 7, 11 y 12) se estimarán anualmente, al final de la temporada estival. Sobre el terreno se estimarán mensualmente, durante la estación estival (preferentemente en fines de semana, a media mañana), las variables de control de acceso (n.ºs 1, 3 y 10). Por último, una inspección mensual del sistema dunar permitirá conocer las variables de vigilancia, información e intervención en el sistema (n.ºs 2, 4, 5, 6, 8 y 9).

4.2.2. Protocolo para la evaluación global de la estructura y función

La evaluación global de la estructura y función permite estimar semicuantitativamente el estado de conservación del tipo de hábitat. El método consiste simplemente en la suma total de los valores obtenidos en todas las variables medidas o estimadas (ver tabla 4.8.).

No obstante, es muy importante tener en cuenta el número de variables medidas que llevan a obtener el valor del estado de conservación. Ese número indica el grado de representatividad de los datos obtenidos, así como el conocimiento que se tiene del sistema dunar (y por tanto, es indicativo de la mayor o menor necesidad de abordar estudios que reduzcan la indeterminación existe). Por ello, al resultado obtenido hay que añadir una letra (A, B o C) que indique la calidad de la evaluación en función del número de variables tenidas en cuenta, según se indica en la tabla 4.9.

La ausencia de información (resultados de tipo C) no es necesariamente indicativa de un estado de conservación desfavorable, por lo que no tiene sentido combinar numéricamente el resultado obtenido en el cómputo de las variables con el número de variables medido. Más bien, se trata de dos tipos de información diferentes que caracterizan el resultado: evaluación del estado de conservación, y fiabilidad de la evaluación.

	ESTADO DE CONSERVACIÓN		
	FAVORABLE	DESFAVORABLE —INADECUADO—	DESFAVORABLE —MALO—
Evaluación global del estado de conservación	161-240	81-160	0-80

Tabla 4.8

Caracterización del estado de conservación global del sistema dunar a partir de los rangos de variación del total de las variables.

	REPRESENTATIVIDAD DE LOS RESULTADOS		
	A	B	C
Número de variables medidas	49-72	25-48	0-24

Tabla 4.9

Criterios para determinar la calidad de la evaluación en función del número de variables consideradas.

Así, si en un sistema dunar se obtiene un resultado de 175C, se evidenciará la alta escasez de datos disponibles, o la carencia de estudios previos, de modo que se tiene muy poca información acerca del sistema. No obstante, los pocos datos existentes apuntan hacia un estado de conservación favorable. De igual modo, un sistema dunar con un resultado de 22A indicará un claro estado de conservación Desfavorable-malo, determinado a partir de un elevado número de variables medidas.

4.2.3. Tipologías de estado de conservación (sistemas de referencia)

El protocolo descrito en el apartado anterior necesita ser validado mediante su aplicación a sistemas dunares bien conocidos. Para ello, se han elegido cinco sistemas de referencia que representan algunos de los sistemas dunares mejor conservados de la costa española. Dos de ellos se ubican en la región biogeográfica Atlántica, uno en su fachada norte (Lienres, Cantabria) y otro en su fachada sur (Doñana, Huelva). El primero corresponde a un sistema dunar con un elevado grado de presión antrópica, mientras que el segundo constituye el sistema dunar mejor conservado de España y uno de los mejor conservados de Europa. Se han elegido otros dos sistemas en la región biogeográfica Mediterránea, uno ubicado dentro de un parque natural y no sometido de manera directa a una presión antrópica grave (dunas del Delta del Ebro, en concreto las desarrolladas en el hemidelta sur: Península de la Banya), y otro bien desarrollado pero con una presión antrópica importante, de carácter estacional y especialmente grave en décadas anteriores (dunas del Saler, en el Parque Natural de la Albufera de Valencia). Por último, se ha elegido el mejor sistema dunar de la región biogeográfica Macaronésica, correspondiente al complejo dunar de Maspalomas, al sur de Gran Canaria.

La aplicación del protocolo se ha realizado mediante la consulta bibliográfica de diversos trabajos y artículos publicados por especialistas en cada uno de estos ámbitos. No obstante, algunas de las variables no aparecen claramente especificadas en la bibliografía consultada. Para solventar esa carencia se ha recurrido a una estimación cualitativa, fruto del conocimiento por parte de los presentes autores de dichos sistemas dunares. En cualquier caso, cuando en alguna variable las dudas han superado a las

certezas se ha optado por dejar el correspondiente valor en blanco. Se deduce, por tanto, que los valores que se ofrecen son orientativos, y que será necesario estimarlos de nuevo con mayor precisión y seguridad cuando se inicien los planes de seguimiento. Por otro lado, también se han dejado en blanco algunas variables que no pueden evaluarse por la propia naturaleza del sistema de referencia en cuestión: es el caso de la presencia de determinados tipos de vegetación (variables D4, D5 y D11) en Maspalomas, región donde no aparecen las especies características de las costas arenosas peninsulares.

Las características generales, ubicación y una selección de bibliografía básica consultada para cada uno de los sistemas de referencia son las siguientes.

Estaciones de referencia

Región biogeográfica atlántica

- **Localidad 1: Dunas de Lienres (Cantabria)**
Coordenadas geográficas: 43° 26' N, 3° 58' W
Masa de Agua: 11 (Margen Astur-oriental)
Código espacio red Natura 2000: ES1300004
Referencias: Arteaga y González Martín (2002), Arteaga & Sanjosé (2004), Flor (1998), Lorient (1975) y Ramírez y Ley (1997).
- **Localidad 2: Dunas de Doñana (Huelva)**
Coordenadas geográficas: 36° 50' N, 6° 22' W
Masa de Agua: 7 (Golfo de Cádiz)
Código espacio red Natura 2000: ES0000024
Referencias: Ales & Martín (1997), Allier *et al.* (1974), CMA (1998), Clemente *et al.* (1997), Díaz *et al.* (1985), Flor (1990), García Mora *et al.* (1997), García Novo (1997), Merino & Merino (1988), Ojeda *et al.* (2002), Ojeda & Vallejo (2004), Ojeda *et al.* (2005), Vallejo (2007), Vallejo & Ojeda (2005), Vallejo *et al.* (2006), Van Huis (1989), Vanney & Menanteau (1979) y Vanney *et al.* (1979).

Región biogeográfica mediterránea

- **Localidad 1: Dunas de La Banya, Delta del Ebro (Tarragona)**
Coordenadas geográficas: 40° 34' N, 0° 38' E
Masa de Agua: 2 (Delta del Ebro)
Código espacio red Natura 2000: ES5140013

Referencias: Crous Bou & Pintó (2004), Guillén (2000), Jiménez *et al.* (1997), Jiménez & Sánchez-Arcilla (1993, 1997), Palanques & Guillén (1998), Rodríguez Santalla (2000), Sánchez *et al.* (2007) y Serra *et al.* (1997).

■ Localidad 2: Dunas de El Saler (Valencia)

Coordenadas geográficas: 39° 21' N, 0° 18' W
Masa de Agua: 2 (Delta del Ebro)
Código espacio Red Natura 2000: ES0000023
Referencias: Benavent *et al.* (2004), Costa (1986, 1987), Costa & Mansanet (1981), Costa *et al.* (1983, 1986), De Felipe & Vizcaíno (1987), González Móstoles (1981), Martí & Quintana (2007), Pardo *et al.* (2007), Sanjaume (1974, 1988, 1992b), Sanjaume & Carmona (1995), Sanjaume y Pardo (1991a & b, 1992) y Vizcaíno *et al.* (1985).

Región biogeográfica macaronésica

■ Localidad 1: Dunas de Maspalomas (Gran Canaria)

Coordenadas geográficas: 27° 44' N, 15° 35' W
Masa de Agua: Islas Canarias
Código espacio red Natura 2000: ES7010007
Referencias: Alonso *et al.* (2001), Fontán *et al.* (2007), Hernández (2005), Hernández & Mangas (2004), Hernández *et al.* (2005, 2007), Hernández Cordero *et al.* (2006), Martínez (1986), Melián *et al.* (2005) y Ojeda *et al.* (2007).

En la tabla 4.10 se muestra el desglose de valores asignados a cada variable para cada una de las estaciones de referencia citadas.

SISTEMA DUNAR	A) Factores morfosedimentarios												B) Factores de incidencia marina y litoral												C) Factores de incidencia eólica											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lienres	4	2	2	2	2	—	2	0	2	—	—	1	4	3	1	0	4	1	2	—	2	—	1	2	1	2	—	—	1	—	1	1	2	0,5	—	2
Doñana	4	4	4	4	4	2	4	4	2	2	2	2	4	3	4	4	4	4	4	4	2	—	1,5	2	3	4	4	3	3	2	3	4	1	2	—	2
Delta del Ebro	4	3	3	3	2	3	3	2	2	0,5	—	2	0	2	1	2	4	2	2	2	2	0	2	1	2	3	2	2	1	2	4	—	1	1	1,5	2
El Saler	4	3	2	2	1	3	4	4	2	—	—	1	0	2	2	2	4	4	4	—	2	1	2	0	2	1	—	4	4	4	2	4	1	0,5	—	1
Maspalomas	4	1	4	4	3	3	4	4	2	2	2	1	2	4	2	2	4	3	4	2	—	—	2	2	0	1	1	4	2	2	0	1	1,5	—	1	2

SISTEMA DUNAR	D) Factores ecológicos y de cobertura vegetal												E) Factores de presión antrópica												F) Factores de gestión y protección											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lienres	1	2	2	3	3	—	4	4	—	1	—	—	2	2	0	2	0	—	4	2	2	—	4	2	4	0	0	—	—	—	4	4	—	—	—	2
Doñana	3	4	4	3	3	2	4	4	2	2	2	2	4	2	4	4	4	4	4	2	2	2	1	2	4	0	4	1	0	1	4	4	1	2	0	2
Delta del Ebro	—	2	4	3	3	4	4	4	2	2	1,5	2	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	0	4	—	0	2	4	4	0	2	—	2
El Saler	3	2	2	3	3	2	4	4	2	1,5	—	1	2	2	2	2	4	4	4	2	1,5	1	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	1	—	—	2
Maspalomas	3	2	2	—	—	—	4	4	2	2	—	1	2	2	0	0	4	4	3	2	1	1	1	0	2	0	2	0	0	2	4	4	0	—	—	2

Tabla 4.10

Estimación de las variables que caracterizan el estado de conservación de cinco sistemas dunares de referencia.

Resultados obtenidos

Región biogeográfica Atlántica

- Lienres: **Inadecuado – A** (101,5 puntos, a partir de 51 variables).
- Doñana: **Favorable – A** (198,5 puntos, a partir de 70 variables).

Región biogeográfica Mediterránea

- Delta del Ebro: **Favorable – A** (162,5 puntos, a partir de 67 variables).
- El Saler: **Favorable – A** (163,5 puntos, a partir de 63 variables).

Región biogeográfica Macaronésica

- Maspalomas: **Inadecuado – A** (132,5 puntos, a partir de 63 variables).

Como podemos observar, todos los sistemas poseen un número suficiente de variables medidas o estimadas, lo que hace que los resultados sean representativos. En cuanto al estado de conservación, tres de los sistemas presentan un estado favorable: Doñana, Delta del Ebro y El Saler. De ellos, los mejores resultados se obtienen en Doñana, con un valor final elevado y con la práctica totalidad de las variables medidas o estimadas. Sin duda, constituye el sistema dunar mejor conservado del territorio español y representa el sistema de referencia más importante.

El Delta del Ebro y El Saler obtienen una valoración similar, muy próxima al límite con el estado Desfavorable-inadecuado y con un número casi idéntico de variables medidas. No obstante, ambos sistemas difieren en algunos aspectos: mientras el Delta del Ebro presenta una alta naturalidad pero un número limitado de medidas de gestión del sistema dunar, en El Saler existe una acusada presión antrópica que se ve compensada con un completo sistema de recuperación y man-

tenimiento del sistema dunar, uno de los más avanzados del país.

Por último, Liencres y Maspalomas obtienen una valoración claramente asignable a un estado Desfavorable-inadecuado, aunque sensiblemente mejor en el caso canario, donde además el número de variables conocidas en esta estimación es mayor. En ambos casos la presión antrópica es importante, los planes de recuperación o regeneración son muy limitados, y en el caso de Liencres existen evidencias de procesos de erosión y degradación dunar, a pesar de tratarse de un área protegida bajo la figura de Parque Natural.

En conclusión, parece que *a priori* el protocolo diseñado para esta ficha discrimina suficientemente los distintos sistemas dunares desde un punto de vista cuantitativo. Además, permite conocer las debilidades y las fortalezas de cada uno de ellos, y ayuda a identificar las carencias de información necesarias para tener un conocimiento completo y exhaustivo de la situación ambiental de los sistemas dunares costeros. Por otro lado, la aplicación del protocolo a los cinco sistemas dunares, representativos de situaciones ambientales y morfodinámicas muy diversas, ha dado resultados que no se contradicen con la estimación cualitativa inicial que podría hacerse de ellos tras un simple recorrido y una primera valoración en el campo.



5. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Las recomendaciones que se exponen a continuación tienen por objeto conocer los problemas más importantes que se ciernen en la actualidad sobre las zonas litorales. Si se conocen los problemas será posible buscar las soluciones para minimizar los impactos derivados de las distintas situaciones que ponen en peligro la conservación de los diferentes tipos de hábitat ligados a edificios dunares costeros. La enumeración de las recomendaciones se ha ordenado según el tipo de impacto, actuación negativa o daño que pueden sufrir estos ecosistemas: erosión costera acelerada que determina la recesión de las playas, pérdida de la biodiversidad, fijación de dunas móviles, así como la degradación y destrucción de dunas preexistentes.

5.1. EROSIÓN COSTERA ACELERADA

El equilibrio dinámico-sedimentario de la zona litoral es muy precario, por lo que cualquier alteración que se produzca en este medio tiene unas repercusiones muy importantes. En las últimas décadas las acciones humanas están provocando importantísimas modificaciones en el equilibrio de la zona costera, que contribuyen a acelerar la erosión costera y la hacen más vulnerable ante cualquier riesgo natural. Las acciones humanas que tienen mayor incidencia en las modificaciones de las áreas litorales son las siguientes: construcción de pantanos en los ríos que retienen los sedimentos fluviales, con lo que disminuye la cantidad de materiales que llegan al mar, la extracción de sedimentos de la propia playa, la construcción de estructuras artificiales (puertos, espigones, etc.) y la destrucción de las dunas litorales. A esto habría que añadir la probable subida del nivel del mar como consecuencia del calentamiento global por el efecto invernadero.

5.1.1. Subida del nivel del mar

Es un riesgo a largo plazo, que se ha estado produciendo a lo largo de toda la historia de la Tierra, aun-

que en el último siglo la rapidez con que se manifiesta el incremento de las temperaturas medias mundiales presupone que el lento ritmo geológico puede verse superado. Así, la posible subida del nivel del mar en las próximas décadas puede suponer un importante problema para las poblaciones costeras, que suman más de 800 millones de habitantes. Con la revolución científica del siglo XIX se comprobó el nexo de unión entre las oscilaciones del nivel del mar y los cambios climáticos. En los últimos treinta años se ha despertado un gran interés sobre el potencial impacto que tendría el ascenso del nivel del mar provocado por el calentamiento atmosférico como consecuencia de acciones antrópicas y se han realizado multitud de predicciones sobre la magnitud y tasas de la elevación del nivel del mar. Hay que señalar que algunas de las predicciones han sido extremadamente alarmistas, ya que los resultados de los modelos dependen de los parámetros y de los *inputs* contemplados en el modelo, y es muy difícil conseguir un modelo en el que se puedan reproducir todas y cada una de las múltiples interrelaciones de todos los procesos que intervienen para explicar el fenómeno. En la actualidad, parece existir un mayor consenso en cuanto a que la subida, aunque preocupante, no será tan dramática como se pensaba al principio ya que el escenario más probable, (en el que coinciden la mayor parte de las investigaciones recientes, si no se producen cambios drásticos en la reducción o intensificación prevista de los agentes del efecto invernadero), contemplaría una elevación de 50 cm en el 2100.

Para Carter (1988), las principales causas de los cambios del nivel del mar a corto plazo son: el calentamiento global, el retroceso de los glaciares, cambios en la circulación oceánica y subsidencia, siendo las dos primeras las de mayor importancia. El aumento de la temperatura como consecuencia del efecto invernadero produce un ascenso del nivel del mar inmediato a causa de la expansión térmica de las aguas oceánicas. La subida será todavía mayor si debido al calentamiento global se producen cambios en los balances de masa de los glaciares continentales y de los casque-

tes de hielo. Hay estudios que prueban el retroceso de los glaciares de alta montaña y de los glaciares escandinavos entre 1880 y la actualidad. Por otra parte, hay que señalar que las actividades humanas también pueden contribuir al aumento del nivel del mar, facilitando movimientos de tipo vertical, especialmente fenómenos de subsidencia, causados por extracción de petróleo, agua subterránea o cualquier otro fluido subsuperficial en zonas especialmente sensibles.

Además de la subida del nivel del mar, habría que pensar en como los cambios climáticos pueden afectar a la dinámica atmosférica (situación de las altas y bajas presiones) y si se producen cambios significativos, puede cambiar la estacionalidad, intensidad y distribución de temporales y tormentas que pueden erosionar mucho más que en la actualidad la zona costera o pueden determinar mayor cantidad de crecidas fluviales y proporcionar mayor cantidad de sedimentos que favorezcan la acumulación. Con todo, hay que señalar que el sistema litoral es muy sensible a los cambios climáticos, dada su fragilidad. Si la playa retrocede, a corto o medio plazo las dunas adyacentes se degradan o desaparecen (Carter *et al.*, 1990b). Por tanto, es necesario tomar medidas que minimicen la erosión costera, actuando sobre las causas que la provocan y potenciar las regeneraciones dunares allí donde sea posible dado que las dunas constituyen una defensa natural contra la erosión marina (Carter, 1991).

■ Recomendaciones

Apoyar todas las iniciativas que conduzcan a reducir el efecto invernadero para paliar la probable subida del nivel del mar. Señalar la necesidad de regenerar complejos dunares, allí donde sea posible. Esta regeneración podría incluirse en los proyectos de regeneración artificial de las playas.

5.1.2. Disminución de los aportes sólidos y extracciones de áridos

En realidad habría que distinguir entre las pérdidas que suponen para el transporte litoral los sedimentos que no llegan al mar, por una parte, y los que se extraen de la propia playa, por otra. Con respecto a los primeros, las extracciones de materiales de los

cauces de las ramblas y el impacto de los pantanos son los más importantes.

El impacto de la **extracción de materiales de los cauces** es indirecto, puesto que las repercusiones de esta actividad se manifiestan en una reducción de la carga sedimentaria potencial que podría llegar al mar y, en consecuencia, en un menor volumen de carga sólida para el transporte sólido litoral (deriva litoral). La extracción de sedimentos de los cauces fluviales provoca una ruptura en el perfil longitudinal del río, con lo cual el río se ve obligado a depositar sus sedimentos, frenando de este modo su avance hacia la desembocadura y el mar. Las extracciones determinan, también, cambios en la geometría de los canales fluviales, eliminando barras de los mismos y ensanchando los cauces. Estas modificaciones repercuten en el funcionamiento hidrológico del tramo afectado por las extracciones aumentando, en muchos casos, la rugosidad y el rozamiento, lo que favorece una disminución de la velocidad del flujo de agua y, en consecuencia, el depósito de la mayor parte de los materiales, que de este modo quedan almacenados en el propio río y no llegan al mar. De los ríos se extraen tanto los áridos (cantos, gravas y arenas) que se utilizan como material de construcción, como los materiales finos (limos y arcillas) que se emplean para el relleno de campos de cultivo y también para la industria cerámica (Sanjaume & Pardo, 2005).

Las extracciones de materiales de los cauces fluviales ha sido muy importante en las zonas mediterráneas españolas en las últimas décadas, a causa del auge del sector de la construcción a partir de los años 60 del pasado siglo, ligado al crecimiento urbanístico de las ciudades y a la proliferación de urbanizaciones de residencias secundarias. En la actualidad, esta práctica está totalmente prohibida. Pardo (1991) realizó un estudio de las concesiones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar para la extracción de áridos de los ríos que desembocan en el Golfo de Valencia durante el período comprendido entre 1980 y 1988. El volumen medio anual de áridos extraídos de los cauces de los ríos y ramblas que vierten al Golfo de Valencia entre estas fechas ha sido de 294.708 m³. Con todo, es evidente que no todo este volumen de sedimentos tendría que llegar necesariamente al mar, ya que los materiales más gruesos suelen quedarse en la llanura litoral y los más finos de los transportados tampoco son aprovechados por el transporte litoral, ya que las arcillas que quedan al

principio en suspensión floculan al poco tiempo y son depositadas a una profundidad tal que las olas ya no las remueven.

Por lo que respecta al **impacto de los pantanos**, este también es indirecto y su acción es doble: además de suponer una barrera para los sedimentos fluviales que quedan retenidos en el vaso del pantano y no llegan al mar, el propio pantano evita las crecidas del río con lo cual disminuye también su capacidad de transporte su aguas abajo del pantano (Sanjaume *et al.*, 1996). Los efectos de la disminución de los aportes a causa de las retenciones sufridas en los pantanos se han constatado con toda claridad en algunas áreas, como por ejemplo en el Delta del Nilo, después de la construcción de la presa de Assuán, en donde se ha detectado un importante retroceso de la orilla. Algo similar es lo que está ocurriendo en la actualidad en las playas del Delta del Ebro, especialmente después de la construcción del pantano de Mequinenza. La disminución de aportes en el Río Ebro ha provocado, desde mediados del siglo XX, un retroceso de la línea de costa evaluable en 22 m/año (Jiménez & Sánchez-Arcilla, 1993. Esto ha tenido como consecuencia la casi total desaparición de las dunas móviles de la Península del Fangar (Rodríguez Santalla, 2000). En el Golfo de Valencia, dos tercios de la cuenca vertiente de los ríos se encuentra totalmente regularizada por la acción de embalses y pantanos. Todos estos pantanos son una trampa de sedimentos y, en algunos casos, el volumen de sedimentos retenidos es muy significativo (Sanjaume & Pardo, 2005). Podría citarse el ejemplo del embalse de María Cristina, en la Rambla de la Viuda, que fue construido en 1913 y que en la actualidad se encuentra muy colmatado por los sedimentos retenidos. Desgraciadamente, todavía no tenemos en el momento presente datos fiables del volumen de materiales retenidos en los pantanos.

A esto habría que añadir la **extracción de gravas y arenas de las propias playas**. El aprovechamiento industrial y agrario de los sedimentos playeros es una práctica relativamente antigua y muy extendida. Se produce en buena parte de las costas del planeta y muchos investigadores han señalado el problema que estas extracciones plantean tanto a los sistemas dunares como a la propia estabilidad de las playas. Según Pardo (1991) la utilización de arenas para uso agrícola en la huerta valenciana se remonta al menos a finales del siglo XVIII. En la actualidad, esta actividad está totalmente prohibida, aun-

que algunas playas excedentarias siguen siendo utilizadas como área fuente para las regeneraciones artificiales de otras playas deficitarias.

Por otro lado, las incursiones del ganado en las dunas (pastoreo) y las pequeñas extracciones de áridos contribuyen a la pérdida de aquellas plantas anuales de las que se alimenta, reduciendo la cobertura vegetal. La actividad ganadera contribuye igualmente al incremento de los excrementos, que producen efectos similares a los ocasionados por las basuras de origen antrópico (Aldegue *et al.*, 1997). Por otro lado, el dragado de arenas en zonas costeras puntuales lleva también al retroceso de la costa arenosa en áreas próximas.

■ Recomendaciones

Una posible solución a este problema, no llevada a cabo hasta el momento en España, sería el dragado selectivo de los rellenos sedimentarios de embalses y el posterior uso de los áridos obtenidos para labores de regeneración de playas y dunas, aunque se tengan que lavar previamente por la contaminación que puedan almacenar después de algunos años en el fondo de los pantanos. Por otra parte, habría que prohibir cualquier uso de las arenas de cauces de ríos y de playas excedentarias, ya que la arena de playa es un bien escaso. Las regeneraciones artificiales deberían realizarse mediante material de machaqueo de cantera. Es necesario establecer o mejorar la vigilancia, informado a la correspondiente Demarcación de Costas, al Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil (SEPRONA) y a la Policía Local de las actuaciones ilegales de extracción de arenas para la construcción que se realicen en las dunas o playas. Igualmente, es necesario actualizar y hacer cumplir las sanciones a las empresas o personas físicas que realicen dichas extracciones ilegales.

5.1.3. Alteración de los parámetros de dinámica marina por obras de ingeniería

Las alteraciones más importantes las producen los **espigones perpendiculares a la costa**, porque suponen una barrera a los sedimentos que transporta la corriente longitudinal. De este modo, los espigones (o cualquier obra perpendicular a la costa) provoca una acumulación inducida de sedimentos a un lado del obstáculo y una erosión acelerada al otro lado, puesto que la corriente longitudinal tiene que recu-

perar la carga sólida perdida para recuperar su equilibrio dinámico. La magnitud de la respuesta está en función de factores tales como: configuración y orientación de la playa, textura de los sedimentos y orientación del obstáculo. Por este motivo, son las grandes obras portuarias las que han provocado las mayores alteraciones, aunque no por ello debe descartarse la acción que pequeños espigones pueden tener en determinados sectores playeros, como ha sucedido por ejemplo en Xilxes (Sanjaume & Pardo, 2005). También existen ejemplos de estos efectos en diversos puntos de la costa suroccidental española (Gracia *et al.*, 2006). Cuanto más grande sea el obstáculo mayor será la distorsión provocada y afectará a una mayor extensión de playa. La estabilidad de un tramo de playa está en función del equilibrio entre los aportes transportados por las corrientes litorales y los sedimentados por las olas. Cuando se rompe este equilibrio (por construcción de cualquier obstáculo), la respuesta es inmediata y en pocos meses o años se nota la disminución de la anchura de la playa. Las costas valencianas han perdido por este motivo una media de 4 m de anchura en los últimos treinta años (Sanjaume & Pardo, 2005).

Los **espigones paralelos**, en un principio, no producen alteraciones tan significativas puesto que dejan pasar los sedimentos. Pero con el tiempo, la refracción y difracción de las olas induce a una fuerte sedimentación en la zona de sombra del oleaje en donde se va generando una pequeña barra que llega a conectar con la orilla convirtiendo el espigón en un pequeño tómbolo. A partir de aquí, la corriente de deriva se ve también interrumpida, con lo que el espigón-tómbolo se comporta respecto a la dinámica marina como si fuera un obstáculo perpendicular a la costa (Sanjaume & Pardo, 2005).

Finalmente, las **defensas longitudinales** de escollera son también obras rígidas, que si bien no alteran la dinámica de las corrientes litorales, si que modifican substancialmente el perfil de la playa. Las olas cuando chocan contra la escollera provocan una importante remoción de sedimentos que va socavando la base de la misma, incrementando la pendiente de la playa sumergida con lo cual, al disminuir el rozamiento, las olas llegan todavía con mayor energía a la orilla provocando mayor zapa basal, que es la responsable del desprendimiento de muchos de los bloques que forman la escollera. Ésta tiene que ser reconstruida sistemáticamente con el coste económico que ello supone. Las escolleras que

experimentan zapas importantes en menos tiempo son las totalmente verticales, en las inclinadas el material de escollera resiste mejor puesto que las olas rompen a lo largo de la superficie inclinada y disipan energía (Sanjaume & Pardo, 2005).

■ Recomendaciones

Se debería ser mucho más restrictivo a la hora de permitir la construcción de nuevos espigones, puertos deportivos o de permitir la ampliación de los puertos comerciales ya existentes. Toda ampliación supone una alteración aguas abajo, cuya magnitud dependerá de la orientación de la costa y del clima de olas. En el caso de considerarse absolutamente imprescindibles, las ampliaciones deberían estar obligadas las autoridades portuarias a instalar dragas permanentes que rehicieran el transporte natural de los sedimentos, con lo que se paralizarían las progresiones aceleradas de determinadas playas, pero también se evitarían las recesiones aceleradas de otras muchas, con pérdidas de propiedades particulares (campos de cultivo y edificaciones), así como de patrimonio cultural y ecológico.

Además, se sugiere que para evitar la erosión (que ha sido la coartada más utilizada para la construcción de espigones perpendiculares a la orilla) se utilicen soluciones blandas, como las regeneraciones artificiales de playa, pero minimizando los problemas que estas generan. Por tanto, se aconseja realizar el aporte con material de machaqueo lavado (para evitar la turbidez), que se vierta sedimentos con calibres superiores a los originales (para que el tiempo de residencia de la arena sea superior a la actual) y que el vertido se realice siguiendo el perfil de equilibrio de playa y no de manera indiscriminada como se realizan actualmente.

Por otra parte, se aconseja utilizar elementos disipadores de energía en vez de espigones. Estos elementos tienen que estar sumergidos a poca profundidad y tener un comportamiento permeable absorbiendo la energía de las olas del mismo modo que las *Posidonias oceanicas* han realizado naturalmente.

5.2. PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

Uno de los procesos que requieren de actuaciones de gestión del medio natural es la pérdida de diversidad, motivada por distintos factores, entre los que se

encuentra la proliferación de plantas exóticas cuya capacidad competitiva sobre el resto de las especies autóctonas lleva a catalogarlas como especies invasoras. Se trata principalmente del *Carpobrotus* sp., que constituye un problema importante en numerosos sistemas dunares de España. Esta aizoácea de origen sudafricano ha sido empleada para la fijación de arenas, aunque en ocasiones se ha establecido de manera fortuita, escapándose de jardines próximos a los sistemas dunares. La importante expansión que tiene en algunos de estos medios hace peligrar el desarrollo de la flora autóctona. Otras especies exóticas introducidas en diversos enclaves costeros son *Oenothera drumondii*, *Disphyma crassifolia*, *Cortaderia selbana* y *Agave americana*. En todo caso, el impacto de las especies exóticas tiene una relación directa con su capacidad competitiva, el desplazamiento de autóctonas y su capacidad de expansión. Por ejemplo, en algunos sistemas dunares pueden encontrarse ejemplares muy aislados de la especie *Myoporum tenuifolium* (comúnmente llamada transparente), originaria de Nueva Zelanda, o de *Solanum sodomaeum*, procedente del Sudafrica, pero dada su menor capacidad competitiva, no suponen una amenaza inminente para la flora autóctona.

■ Recomendaciones

La eliminación de estas especies invasoras de los cordones dunares es fundamental para garantizar su conservación, dados los numerosos ejemplos en los que estas especies han excluido totalmente la vegetación natural de estos ecosistemas en relativamente poco tiempo (Gómez-Serrano *et al.*, 1999 & 2001). Estos fenómenos ponen de manifiesto la idoneidad de los planes de acción basados en la detección temprana de la llegada de estas especies al ecosistema, y su inmediata erradicación antes de que se extiendan por las playas y su eliminación sea inviable económica y ambientalmente.

En estos casos, es recomendable no su simple eliminación, sino más bien la sustitución de la población retirada de *Carpobrotus edulis* u *Oenothera drumondii* por ejemplares autóctonos, propiamente dunares, como *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Lotus creticus*, *Otanthus maritimus*, *Eryngium maritimum*, etc., para no modificar las características de estabilidad del terreno que se daba con la presencia de las invasoras. Las especies mencionadas son especies perennes rizomatosas o con grandes sistemas radica-

les que intervienen en mayor medida en la fijación de arena respecto a otras especies anuales. Estas actuaciones son ideales para hacerse de forma interactiva, es decir, haciendo un seguimiento paralelo de los efectos de la misma y de la evolución de la cobertura vegetal de las zonas en las que se comience la actuación.

El objetivo de erradicación de *Carpobrotus* ha sido abordado mediante dos métodos principales: el desarraigo manual de la planta y la aplicación de herbicidas. El primer método es el más recomendable cuando se trata de pequeñas manchas o pies aislados, cuando se trata de terrenos con poca pendiente o cuando se trata de dunas móviles no estabilizadas. El segundo método puede aplicarse cuando las manchas son importantes y cuando el terreno tiene pendientes acusadas, o cuando la erosión resultante puede afectar a la estabilidad de un terreno bien asentado gracias al enraizamiento. En estos casos, para California, se ha recomendado, además, aplicar el producto en días sin viento e incluso proteger con plásticos las plantas naturales cercanas y desarraigar los márgenes a mano. La siembra de nuevas plantas autóctonas se lleva a cabo, entonces, entre los restos de la invasora. A nuestro juicio, la aplicación de herbicidas indiscriminadamente no es necesaria ni conveniente y cada caso merece una evaluación y decisión previa según los criterios apuntados anteriormente.

Para llevar a cabo la retirada de las plantas invasoras debe tenerse cuidado con el impacto que puede producirse si se utilizan vehículos de transporte (que pueden llevar a la alteración del perfil dunar y su vegetación). En las dunas de El Saler (Valencia) ha resultado muy adecuada la utilización de un vehículo tractor con ruedas de oruga (carretilla todo terreno) para la retirada de *Carpobrotus edulis*, vehículo que apenas altera el perfil dunar (Benavent *et al.*, 2004).

5.3. FIJACIÓN DE DUNAS MÓVILES

En ocasiones, el avance de grandes dunas sobre diversas construcciones situadas a sotavento de las mismas, básicamente carreteras o poblaciones, da lugar a su enterramiento parcial o total. Ejemplos de esta situación se han citado en las costas de La Coruña, Huelva, Cádiz, Almería, Alicante, Murcia, Tarragona, Formentera y Fuerteventura, entre otras. Sin em-

bargo, la gestión exclusivamente dirigida a potenciar la fijación y estabilización de las dunas puede acarrear como resultado paralelo una reducción de la diversidad al intervenir sobre la dinámica natural, seleccionando sólo especies propias de ambientes menos móviles y pudiendo reducir peligrosamente la extensión ocupada por especialistas propios de la primera línea con arenas mucho más móviles.

■ Recomendaciones

Históricamente la medida más común ha sido la reforestación, que ha fijado con gran efectividad diversos mantos eólicos y dunas móviles a lo largo de la costa española como, por ejemplo, en Guardamar del Segura (Alicante). Actuaciones más locales han consistido en la instalación de tablestacados, mimbreras y otros sistemas de captación de arena eólica, de modo que el avance horizontal se transforma en un crecimiento vertical de las dunas (Ben Salem, 1988; Ramírez & Ley, 1997). Este es el sistema que se utilizó para regenerar algunas dunas del Saler. Al principio, se realizaron barreras permeables con cañas, se repobló con especies propias de dunas móviles, después, se utilizaron pequeños haces de restos vegetales que se talaban en la propia Devesa (principalmente de la erradicación de eucaliptos) y que fueron muy efectivos reteniendo arena. Posteriormente, se utilizó una malla de plástico de distintas permeabilidades (la más efectiva tenía un 40-50%) y una vez conseguida la acumulación deseada, se repoblaba con vegetación autóctona y se evitaba el pisoteo. Después de veinte años de experiencia en la Devesa del Saler, la metodología recomendada (Benavent *et al.*, 2004) es la siguiente:

- Restauración de la morfología dunar mediante acumulación mecánica de arena.
- Fijación del material mediante la construcción de empalizadas (de espartina y caña) y la plantación de especies vegetales propias del ecosistema.
- Adecuación de la zona restaurada para uso público: cerrando temporalmente la zona y explicando a los usuarios, mediante una campaña de información y educación ambiental, el motivo del cierre y la finalidad de la actuación.

Las empalizadas, construidas con espartina (*Spartina versicolor*) y con caña (*Arundo donax*) han retenido la arena acumulada y han captado nueva arena durante el tiempo que han estado funcionando.

Para que sea eficaz, la empalizada debe tener unos 80 cm y el grado de permeabilidad ser de 40-50%. Mayor permeabilidad no es efectiva puesto que el viento, al atravesar la empalizada, no reduciría lo suficiente su velocidad para que la arena que transportaba se depositara. Por el contrario, una empalizada demasiado espesa actuaría como un obstáculo impermeable, socavándose la base de la estructura, que acabaría por desmoronarse. La caña que se coloca en sentido vertical para sujetar el borro debe estar siempre seca para evitar el rebrote en contacto con el sustrato. Las empalizadas deben disponerse siguiendo un entramado ortogonal, con la finalidad de captar arena transportada por el viento en todas direcciones (Benavent *et al.*, 2004).

No obstante, el aumento de la altura de la duna da lugar a un nuevo perfil de equilibrio, muy diferente al original, que motiva a su vez la formación de una rampa de barlovento que facilita el transporte de arena a lo largo de una mayor distancia. Además, el incremento de altura hace que el viento gane velocidad en su coronación por no existir obstáculos que lo frenen y el transporte de arena es mayor. Precisamente este proceso trae como consecuencia una mayor dificultad en el desarrollo de la vegetación, al aumentar la abrasión que el viento ejerce sobre las plantas. Por lo tanto, la colocación de tablestacados, mimbreras o cañizos debería limitarse sólo a aquellos casos en los que se requiera detener el avance de dunas por grave peligro de erosión o de desaparición del cordón dunar. Además, estas estructuras deberían limitarse en el tiempo hasta que se haya conseguido la captación justa de arena, debiendo ir seguidas de labores de revegetación con el fin de fijar la acumulación eólica y de recuperar la comunidad vegetal perdida.

5.4. DEGRADACIÓN Y DESTRUCCIÓN DE CORDONES DUNARES

Las características de estos tipos de hábitat, como pueden ser a juicio de paisajistas su luz, su color, dimensiones, composición de formas y tonalidades, movimiento, vida, las formas de su horizonte, el olor o el rumor del mar y el viento, etc., son elementos que confieren a los sistemas dunares un valor paisajístico o estético, que debe también tenerse en cuenta a la hora de gestionar este espacio. El alto valor natural y paisajístico, además del puramente

ecológico, de algunos enclaves dunares (o colindantes a sistemas dunares) motivan una mayor afluencia de personas (Carter & Chance, 1997). Hay algunas actividades que son especialmente perjudiciales para la pervivencia de las dunas en buenas condiciones ecológicas. Entre las posibles actividades perniciosas destacaríamos las siguientes

5.4.1. Actividades de ocio

El turismo, y en general las actividades de ocio en las playas, suponen una degradación de la vegetación dunar, y en consecuencia del resto de la red trófica, motivada por el tránsito de personas (Fernandes & Neves, 1997; Hernández *et al.*, 2005), vehículos como motocicletas de trial y todoterrenos, así como por la instalación de aparcamientos incontrolados. Estos usos reducen la cobertura vegetal, su capacidad de regeneración, y su nivel de estabilidad dunar. También dificultan enormemente posteriores labores de revegetación y ocasionan la mortalidad de insectos (como coleópteros) por su reducida capacidad de huida. Además, dan lugar al incremento de vertidos (basuras) que provocan, en un medio pobre en recursos, el asentamiento de especies (flora y fauna) nitrófilas y oportunistas o, cuando menos, un incremento de las poblaciones de plantas o animales escasamente representados inicialmente, modificando la estructura de especies de la comunidad (Escarré *et al.*, 1989). Finalmente, hay que citar el deterioro por el trasiego de vehículos, frecuente debido a la atractiva topografía de este medio, así como a la poca consistencia del sustrato para la práctica de estas actividades. Los vehículos más dañinos son bicis, motos, coches, e incluso la gente, que al destruir parte de la vegetación, favorecen la génesis y desarrollo de los *blowouts*, y a la larga puede destruir la duna. Muchas veces se ha constatado que las calderas de abrasión guardan una estrecha relación con los pasillos que abren los usuarios camino de la playa. El paso de vehículos destruye los grandes arbustos, importantes en el aerodinamismo y transporte de las arenas, y además, promocionan nuevas vías de acceso al interior del sistema (Aldegue & Seva, 1989). Otra actividad de ocio que perjudica a las dunas, en este caso a su vegetación original y, en menor medida, a su morfología es la instalación de campos de golf, de los que tenemos algunos ejemplos en las costas mediterráneas, como el del Parador Nacional del Saler.

En este contexto, el grupo de las aves, y particularmente el de las nidificantes, es uno de los más susceptibles a las perturbaciones humanas. Los efectos de la presencia humana sobre las aves son de diferente naturaleza, afectando de múltiples formas a su comportamiento y especialmente, a los factores que determinan su éxito reproductor (Oltra & Gómez-Serrano, 1997; Gómez-Serrano, 2006). La presencia humana es uno de los principales factores que determinan la existencia de poblaciones reproductoras de aves litorales (Gómez-Serrano, 2002).

■ Recomendaciones

El uso recreativo obliga a canalizar el acceso de personas mediante un número reducido de pasarelas de madera o de otro tipo, y de vallas. Está comprobado que si los usuarios tienen pasarela de madera, les resulta más cómodo utilizarla que andar libremente por las dunas, por lo que a la larga, resultan una inversión extremadamente rentable. Es también conveniente la creación de senderos mediante la colocación de estacas a bastante profundidad, para que no sean arrancadas o tiradas, unidas mediante cuerdas gruesas, de modo que se evite el tránsito desordenado de usuarios de la playa colindante. También sería conveniente añadir carteles con información sobre la importancia del ecosistema y detalles de la ecología de la zona. El acceso de vehículos a la zona de dunas también debe limitarse mediante vallados o pilotes de madera o metálicos.

Las aves litorales son uno de los grupos faunísticos más amenazados por las actividades humanas. Sin embargo, en la mayor parte de los sectores costeros cuyas dunas se han beneficiado de actuaciones de conservación o regeneración, tradicionalmente se olvidado que este ecosistema también es característico para algunas especies de aves como el Chorlito patinegro (*Charadrius alexandrinus*), y que necesariamente se deben articular medidas encaminadas a compatibilizar su uso público con la conservación de sus poblaciones nidificantes. En casos extremos, en los que el principal factor limitante para el establecimiento de estas especies como reproductoras es la elevada presión humana, se deberían crear vallados temporales (que se pueden abrir en verano) para reducir las molestias humanas, tal y como habitualmente se viene realizando para favorecer la regeneración de la vegetación dunar una vez ha sido restaurada.

5.4.2. Urbanización

Los procesos de urbanización (segundas residencias, hoteles, zonas industriales, etc.) en las dunas o sus proximidades constituyen el principal impacto sobre la pérdida directa de superficie natural. La gran demanda existente hace difícil la conservación de estos espacios naturales. Se requeriría un mayor control de los asentamientos localizados en el Dominio Público Marítimo Terrestre, mediante la estricta aplicación de la Ley de Costas, incluyendo medidas de vigilancia para prevenirlos.

Si se construye sobre las dunas, además de la pérdida del ecosistema, las construcciones pueden dañarse, cubrirse de arena o incluso derrumbarse debido a la erosión de la duna durante los temporales más severos. Las construcciones también pueden sufrir asentamientos diferenciales que dañan su estructura, produciendo agrietamientos, basculamientos, etc. La duna deja de actuar como reservorio de arena y la playa se erosiona completamente. Esta situación se agrava cuando, a fin de proteger las construcciones, se levanta un muro para prevenir la erosión: el muro no absorbe la energía de las olas de tormenta sino que la refleja, aumentando la pérdida de arena en zonas próximas, a la vez que se dañan los cimientos del muro.

La mayor parte de las dunas litorales de la costa mediterránea española han desaparecido, como consecuencia del boom turístico, bajo la presión urbanizadora que ha azotado nuestro país. Las dunas se han destruido para dejar paso a edificios de residencias secundarias, hoteles, carreteras, aparcamiento, paseos marítimos, etc, sin tener en cuenta que las dunas influyen en el equilibrio dinámico de las pla-

yas. Las dunas retienen los sedimentos playeros que llegan desde la parte más alta de la playa seca, pero cuando soplan vientos terrales parte de estos sedimentos pueden regresar a la playa, con lo que contribuyen al equilibrio de la misma. Durante los temporales, parte de este material es transportado mar adentro, pero después en los momentos de calma es devuelto a la playa y se inicia un nuevo ciclo. Hasta hace muy pocos años, todos los paseos marítimos de las poblaciones costeras se habían construido por encima de las dunas y la recesión de esas playas se había incrementado de un modo tan notable, que incluso se había producido el descalzamiento y destrucción del propio paseo, después de temporales de cierta importancia (Sanjaume & Pardo, 2005). En la actualidad ya se están construyendo por detrás de las dunas, con lo que se mantiene el equilibrio sedimentario y la recesión es menos acusada.

■ Recomendaciones

Se requeriría incrementar la vigilancia para prevenir este tipo de asentamientos dentro del Dominio Público Marítimo Terrestre, aunque sólo sea para evitar los dramáticos desalojos y derribos de viviendas y construcciones ilegales, aunque en algunos sectores de la costa mediterránea, el retroceso costero ha sido de tal envergadura, que muchas edificaciones que se habían construido a cientos de metros de la orilla han quedado en la actualidad dentro del Dominio Público Marítimo Terrestre y se ven obligados a derribar las casas, que muchas veces son de sus antepasados, sin que realmente sean los culpables de haber edificado en zona que no habría quedado en dominio protegido si la costa no hubiera retrocedido tanto en tan pocos años.

6. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

6.1. BIENES Y SERVICIOS

Los bienes y servicios que presta un ecosistema se pueden clasificar en cuatro grandes tipos: suministro, regulación, servicios de base y servicios culturales. Las dunas costeras cumplen con todos ellos, según los mecanismos que se exponen a continuación.

6.1.1. Servicios de suministro

Las acumulaciones arenosas dunares constituyen excelentes acuíferos por su gran porosidad y permeabilidad. Además, la filtración del agua a través de este medio poroso y los múltiples procesos de autodepuración (mecánica, química y biológica) hacen que los flujos acuosos procedentes de sistemas dunares sean de gran calidad y pureza. Como consecuencia, se trata de ecosistemas que han sido (y siguen siendo) explotados para la extracción de aguas subterráneas de gran calidad (Llamas, 1990).

Por otro lado, el agua dulce de las dunas costeras posee una gran importancia biológica y ecológica, por varias razones. En primer lugar, define los patrones de distribución, tipo y densidad de la vegetación. Así, en el caso de Doñana, el tipo de hábitat 2150 se puede dividir en dos grandes asociaciones vegetales, monte blanco y monte negro (ver apartado 2.3). Una de las principales diferencias entre ambos conjuntos se basa en la profundidad del nivel freático en otoño: en el monte blanco es mayor de 1,5 m, mientras que en el monte negro es menor de este valor (Allier *et al.*, 1974). Igualmente, la vegetación de las dunas estabilizadas o cotos (tipos de hábitat 2130 Dunas costeras fijas con vegetación herbácea (dunas grises*) y 2150 Dunas fijas discalcificadas (*calluno-ulicetea**) está fuertemente condicionada por las fluctuaciones del nivel freático, de modo que un descenso acusado por sobreexplotación del acuífero (depleción hidrogeológica) podría dañar seriamente a todo el ecosistema, aparte de afectar a los recursos hídricos explotables económicamente (Merino & Merino, 1988).

En segundo lugar, el nivel freático define la morfología y dimensiones de algunos de sus tipos de há-

bitat. Las lagunas y charcas, así como los pequeños manantiales y zonas de rezume (caños) que existen en las depresiones interdunares (corrales) se forman en áreas donde el nivel freático asciende por encima de la superficie topográfica (Melián *et al.*, 2005). Estas charcas y caños son mucho más frecuentes y permanentes en el ecotono o zona de contacto entre el ecosistema dunar y el ecosistema estuarino-marismeno. El ecotono constituye la zona más fértil y productiva de todo el Parque Nacional de Doñana, ya que recibe continuos aportes hídricos dulces procedentes del acuífero dunar (Almonte-Marismas), y su humedad permanente, así como su elevado grado de fertilización hace que sea el área preferente para el asentamiento de numerosas especies animales, así como área de cruce permanente de las especies más móviles. En funcionamiento del ecotono sólo puede entenderse como parte fundamental del complejo sistema acuífero del Bajo Guadalquivir (Llamas, 1990).

No obstante, la alta transmisividad hidráulica de los acuíferos dunares costeros y su proximidad al mar les hace altamente vulnerables a la sobreexplotación hidráulica, de modo que un exceso de extracciones en áreas costeras puede llevar rápidamente a la intrusión de aguas saladas de origen marino y a la contaminación del acuífero, según un proceso bien conocido y perfectamente predecible (Bakker, 1990).

6.1.2. Servicios de regulación

Las dunas intervienen en el equilibrio sedimentario de las playas. Durante los períodos de buen tiempo, la arena excedente se deposita en la orilla y de allí pasa a formar parte de la playa seca y de las dunas por la acción sistemática del viento. Cuando llegan los temporales invernales, las dunas actúan como reservorios de arena no sólo funcionando a modo de muro de contención frente al oleaje, sino que también prestan arena a la dinámica marina. Además, contribuyen a la disipación de la energía del oleaje incidente al pasar la arena prestada por las dunas a la playa sumergida, disminuyendo la pro-

fundidad de esta zona y formando barras submareales. Esto favorece el asomeramiento y la rotura de las olas y la consecuente pérdida de energía, lo que disminuye la acción erosiva de los temporales. En los períodos de buen tiempo, la arena retorna paulatinamente a la orilla y a la playa seca, restaurándose las dunas primarias.

Este ciclo anual mantiene en equilibrio el balance de arena de la playa, salvo que la vegetación de las dunas, o las mismas dunas sean destruidas. Si no existiera este almacén, la arena que contiene la playa seca podría perderse con los temporales más allá de la profundidad de retorno (línea de base de acción del oleaje), además de no frenar el efecto erosivo de las olas. Como consecuencia, se perdería un recurso turístico de primer orden, motivando la inversión de importantes cantidades de dinero en actuaciones de regeneración de playas, además de trasladar el impacto a las zonas sumergidas de dragado y acopio de áridos.

En definitiva, las dunas constituyen una de las principales vías naturales de regulación de la acción de los temporales y otros fenómenos energéticos marinos sobre la costa (huracanes, tsunamis). Igualmente, protegen las playas y en general, la línea de costa frente a la erosión a medio y largo plazo, por lo que constituyen un excelente medio natural de defensa contra los retrocesos y pérdidas potenciales de playas de interés turístico. Por último, protegen las áreas costeras frente a las inundaciones por sobre-elevación del nivel del mar, ya sean instantáneas (paso de un temporal profundo), ya se produzcan a medio y largo plazo (ascenso eustático ligado al calentamiento global).

Las dunas fijadas por vegetación (con céspedes, enebros, pinos, etc.) tienen un alto valor ecológico en relación a su capacidad para retener las arenas y estabilizar las dunas, protegiendo los ecosistemas que se desarrollan tras ellos de los vientos cargados de sal y arena. Además, constituyen una barrera natural contra los episodios naturales catastróficos y contra el ascenso del nivel del mar.

6.1.3. Servicios de base

El ecosistema dunar favorece la formación de suelo a través de su evolución natural mediante la progresiva colonización vegetal, la fijación de las acumula-

ciones arenosas, la acumulación de materia orgánica y la meteorización y lenta diagénesis del depósito eólico (Cortés Macías, 1996). La regeneración dunar y su protección mantenida a lo largo de varias décadas permiten la recuperación ambiental de áreas costeras.

Paralelamente, la progresiva lejanía de la línea de costa, así como la topografía irregular y generalmente ondulada, da lugar a una amplia variedad de tipos de hábitat dentro del ecosistema, con características muy contrastadas, desde frentes expuestos al spray salino y a los vientos persistentes, hasta zonas deprimidas húmedas de agua dulce, pasando por crestas vegetadas por matorral o por bosque. Los distintos tipos de hábitat que conforman el ecosistema dunar están directamente relacionados entre sí, lo que da lugar a un complejo ciclo de nutrientes que enriquece el sistema y que a su vez favorece el desarrollo y ampliación del número de especies presentes, así como su interrelación.

La dinámica de los sistemas dunares a través de la estabilización y lenta colonización de la vegetación contribuye a la formación de suelo. Las dunas litorales fijadas con vegetación arbustiva y arbórea (*Juniperus* spp., *Pinus*, etc.) son lugares con una importante biodiversidad, ofreciendo refugio a una rica flora y fauna. Entre esta fauna cabe mencionar zorros, tejones, jabalíes y conejos que en el caso de los enebros, se alimentan de sus gálbulos y dispersan sus semillas. También albergan especies vegetales de interés comunitario, nacional y regional, como *Thymus carnosus*, *Linaria tursica*, *Gaudinia hispanica* o *Sideritis arborescens*. La madera del enebro, considerada imputrescible, se ha utilizado para la talla y construcción de chozas e hincos para vallas. Mediante la destilación seca de troncos y raíces gruesas, se obtiene el aceite de cada o miera de enebro, de propiedades antihelmínticas, también usado en enfermedades de la piel y de uso veterinario (Font Quer, 2005).

6.1.4. Servicios culturales

Las dunas costeras poseen un **valor paisajístico** de primera magnitud. Constituyen uno de los sistemas naturales más móviles y cambiantes, más eficaces para la protección costera, y a la vez más vulnerables. La protección de su variedad paisajística y su funcionalidad geomorfológica, son condiciones im-

prescindibles para la recuperación y mantenimiento de su riqueza ecológica (Ritchie, 2001). La variada fauna, fundamentalmente avícola, y la vegetación acompañante de las dunas, exclusiva de ellas y ausente en cualquier otro ecosistema, constituyen elementos naturales que, a simple vista, permiten reconocer la salud ambiental de una costa. Su extraordinaria importancia ha dado lugar a numerosos planes nacionales e internacionales para la regeneración, el mantenimiento y la conservación de sistemas dunares costeros, probablemente los más importantes desde un punto de vista paisajístico y geomorfológico de cuantos componen el medio litoral (Houston *et al.*, 2001).

A este valor hay que añadir los **beneficios recreacionales** añadidos, ya que las dunas constituyen el área de acceso a las playas. Dado el fluctuante grado de inundación de las superficies de las playas, así como su exposición a agentes dinámicos a veces agresivos (oleaje, viento), las dunas constituyen la antesala de las playas, área que por su carácter protegido suele ser el asiento preferente de visitantes, bañistas y en general de los usuarios del litoral como zona de ocio. De hecho, los operadores turísticos suelen vender la imagen de las costas paradisíacas a través del reclamo que supone una playa casi vacía de personas y rodeada de dunas bien desarrolladas.

También conviene citar el **valor educativo** de las dunas, ya que en una relativamente pequeña extensión pueden observarse los efectos del viento, la falta de agua, la sal, la erosión, el enterramiento y cambios de pH, interactuando sobre comunidades vegetales que se suceden a lo largo de un gradiente desde la costa al interior. En ese sentido, la preservación de las dunas costeras y la regulación de accesos a la playa mediante pasarelas elevadas permiten a los usuarios percibir progresivamente la proximidad del medio marino a través de la observación de los diferentes tipos de hábitat dunares que se suceden de tierra a mar.

Por otro lado, las grandes dunas solitarias móviles constituyen elementos paisajísticos muy notables que a menudo constituyen la **seña de identidad cultural** de los municipios costeros que las albergan. Es el caso de las dunas de Corrubedo (La Coruña), Trafalgar, Bolonia y Valdevaqueros (Cádiz), Santa Pola (Alicante) o Maspalomas (Gran Canaria), entre otras. Se trata de auténticos monumentos naturales cuya preservación debe constituir una

prioridad fundamental dentro de las funciones ambientales de los correspondientes municipios.

6.2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Por desgracia, las dunas costeras en España constituyen un ecosistema muy poco conocido, con una carencia muy notable de trabajos de descripción, seguimiento y evaluación del estado natural. El trabajo que queda por hacer es enorme, incluyendo multitud de líneas, como por ejemplo:

- **Inventario y cartografía** de los sistemas dunares. A excepción de algunos ejemplos muy escasos, la inmensa mayoría de los sistemas de dunas litorales en España no están cartografiados, y los que lo están presentan métodos, escalas y simbologías muy diferentes, que convendría unificar. Las cartografías deben ser de tipo geomorfológico a escalas de detalle (1:5.000 o como mucho a 1:10.000), distinguiendo las tipologías más sobresalientes, como son los recintos (superficie sedimentarias y erosivas, frentes de barlovento y sotavento) y los parámetros reseñables (crestas y surcos, taludes erosivos).
- **Caracterización geomorfológica de campo** (tipologías dunares y otros parámetros identificables: crestas, surcos, pendientes, desniveles de los escarpes erosivos, etc).
- **Morfodinámica de sistemas dunares activos.** A excepción de los conjuntos dunares de Doñana (Ojeda & Vallejo, 2004; Ojeda *et al.*, 2005), Valencia (Pardo *et al.*, 2005) y de Fuerteventura (Alcántara, 2003), prácticamente no se conoce la dinámica actual de las dunas móviles en España. Para ello, se requiere la aplicación de métodos de campo o bien de teledetección, dependiendo de las dimensiones de los sistemas móviles. Estos métodos deben incluir la realización de perfiles topográficos representativos, toma de muestras superficiales representativas para la realización de análisis granulométricos, de composición mineralógica, identificación de grupos de organismos sobre el componente bioclástico, etc.
- Tampoco se conocen las **velocidades, tendencias y ritmos de evolución** temporal de los sistemas dunares. Por ejemplo, no se sabe cuánto tiempo requiere un tipo de hábitat de dunas embrionarias para transformarse en otro de dunas móviles con *Ammophila*, cuanto necesita éste para dar lugar a dunas fijas con vegetación de

matorral, a qué velocidad migran los sucesivos cordones dunares, con qué ritmo se forman y se destruyen las depresiones interdunares, etc. Tampoco se conoce cuándo se inicia la colonización de las dunas por los *Juniperus* y cuándo éstos dan paso a comunidades de arenas estabilizadas fuera del efecto marino, etc. Este tipo de información, necesaria e independiente para cada región biogeográfica permitiría establecer planes realistas de regeneración completa de sistemas dunares, así como prever las tendencias de cambio, y sobre todo, definir y diseñar los métodos de seguimiento ambiental más adecuados a cada caso. El seguimiento histórico de los campos dunares se viene realizando desde las primeras fotografías aéreas disponibles, concretamente del vuelo norteamericano de finales de los años 50 del siglo pasado y de los sucesivos llevados a cabo por las diputaciones provinciales, el Instituto Geográfico Nacional, el ICONA, las Comunidades Autónomas, las demarcaciones periféricas de costas, etc. Consistirá en la elaboración de cartografías con el detalle que permita cada registro, estableciendo los cambios acaecidos, tanto debidos a causas naturales (recesión o progradación) o las ocupaciones y efectos indirectos de carácter antrópico.

- No se conocen con precisión las **relaciones entre morfología y asociación vegetal**, aspecto fundamental para comprender cómo se produce la nucleación, el crecimiento y el desarrollo de los cordones dunares. **Es necesaria la colaboración entre geomorfólogos y ecólogos-botánicos para realizar estudios conjuntos** que permitan obtener información sobre este aspecto de primera importancia en la preservación de ecosistemas dunares.
- Como consecuencia de lo anterior, se necesita **unificar el lenguaje y la terminología** utilizada por distintos especialistas en el estudio de las dunas costeras. Se precisa la elaboración de una propuesta de clasificación mixta morfológico-ecológica de dunas lo más completa posible, que facilite los estudios integrados de estos sistemas y su caracterización precisa e integrada.
- No se conoce de manera sistemática las velocidades de invasión, implantación y expansión de la

flora exótica, tasas de sustitución de la flora autóctona, así como las modificaciones producidas en las dunas litorales. La preservación natural de nuestros sistemas dunares requiere también de su protección frente a la ocupación por especies invasoras, que rápidamente empobrecen el ecosistema dunar. Se desconoce igualmente el grado de invasión por especies exóticas en la mayoría de los sectores costeros mediterráneos, lo que dificulta la cuantificación del problema y la estimación de los costes de erradicación. Se necesitan, por tanto, muchos más estudios específicos, suficientemente extendidos en el tiempo, que contemplen estos aspectos.

- Se necesita más información sobre la **dinámica de las poblaciones vegetales** que nuclean y fijan las dunas, así como sus interrelaciones, tema del que existen importantísimas carencias en varias regiones naturales españolas. Este aspecto incluye áreas potenciales de recuperación de flora eliminada, interacciones entre especies que comparten hábitat (como el enebro marítimo, el pino o la sabina), adaptaciones de las especies que les confieren capacidad de sobrevivir en el ambiente costero, causas de la falta de regeneración natural de determinadas especies como el pino piñonero, etc.
- Se precisa un mayor conocimiento sobre el efecto de las perturbaciones humanas sobre la **biología reproductora de las aves litorales**. Falta información de cómo afecta el uso humano de las playas sobre la avifauna característica de estos ambientes. Se desconoce igualmente cómo están afectando las restauraciones ambientales a estas especies. Y por otro lado, tampoco se conoce bien el papel diferencial de las aves en la dispersión de distintas especies fijadoras de dunas.
- También deben precisarse las **consecuencias del trasiego humano sobre la evolución de la vegetación** dunar. Existen pocos estudios del efecto que el pisoteo de personas tiene sobre la evolución o capacidad de regeneración del sistema dunar.
- Por último, conviene desarrollar **protocolos** que determinen el **estado de conservación** de cada uno de los **tipos de hábitats dunares**, aspecto del que existe una carencia casi absoluta.



7. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA

- AHMAD, E., 1972. *Coastal Geomorphology of India*. New Delhi: Orient Longman.
- ALCÁNTARA, J., 2003. *Dinámica sedimentaria eólica en el istmo de Jandía Fuerteventura*. Modelización y cuantificación del transporte. Colección Ciencia. Cabildo de Gran Canaria. 288 p.
- ALCÁNTARA, J., COSTAS, S., DELGADO, I., ALEJO, I., ALONSO, I. & L. HERNÁNDEZ, L., 2005. Factores que controlan la interacción sedimentaria en el sistema playa-duna. En: Sanjaume, E., Mateu, J. F. (eds.). *Geomorfología Litoral i Quaternari. Homenatge a V. M. Rosselló*. València: Universitat de València. pp 45-58.
- ALDEGUER, M., MARTÍN, A. & SEVA-ROMÁN, E., 1997. Background and perspectives in the management of the coastal dunes of Alicante province. En: García Novo, F., Crawford, R. M. M. & Díaz Barradas, M. C. (eds.). *The ecology and conservation of European dunes*. Universidad de Sevilla. pp 335-342.
- ALDEGUER, M. & SEVA, E., 1989. Agresiones al medio dunar. Propuestas de ordenación. En: Escarré, A., Martín, J. & Seva, E. (eds.). *Estudios sobre el medio y la biocenosis en los arenales costeros de la provincia de Alicante*. Diputación Provincial de Alicante. Instituto de Cultura Juan Gil-Albert. pp 111-116.
- ALES, E. & MARTÍN, A., 1997. Temporal changes in the distribution of vegetation units in the stabilized dunes of Doñana National Park. En: García Novo, F., Crawford, R. M. M. & Díaz Barradas, M. C. (eds.). *The ecology and conservation of European dunes*. University of Sevilla. pp 117-122.
- ALLIER, C., GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. & RAMÍREZ, I., 1974. *Mapa ecológico de la Reserva Biológica de Doñana, escala 1:10.000*. Sevilla: CSIC.
- ALONSO, I., MONTESDEOCA, I., VIVARES, A. & ALCÁNTARA, J., 2001. Variabilidad granulométrica y de la línea de costa en las playas de El Inglés y Maspalomas (Gran Canaria). *Geotemas* 3 (1): 39-42.
- ANDREWS, B. D., GARES, P. A. & COLBY, J. D., 2002. Techniques for GIS modeling of coastal dunes. *Geomorphology* 48: 289-308.
- ARAÚJO, M. A., 2002. Relative sea level, diastrophism and coastal erosion: the case of Espinho (Portuguese NW coast). *Littoral'2002*. Porto: EUROCOAST/EUCC. pp 125-132.
- ARENS, S. M., 1996. Patterns of sand transport on vegetated foredunes. *Geomorphology* 17: 339-350.
- ARENS, S. M. & WIERSMA, J., 1994. The Dutch foredunes: Inventory and classification. *Journal of Coastal Research* 10 (1): 189-202.
- ARTEAGA, C. & GONZÁLEZ MARTÍN, J. A., 2002. Impactos antrópicos y evolución geomorfológica reciente (siglos XIX-XX) en el Parque Natural de las Dunas de Liencres (estuario del río Pas -Cantabria). En: Serrano, E., García de Celis, A., Guerra, J. C., Morales, C. G. & Ortega, M. T. (eds.). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. VII Reunión Nacional de Geomorfología*. Universidad de Valladolid. pp 67-78.
- ARTEAGA, C. & SANJOSÉ, J. J., 2004. Características sedimentológicas y evolución de una duna linfoiforme en el sistema dunar de Liencres (Cantabria). En: Blanco, R., López, J. & Pérez Alberti, A. (eds.). *Procesos geomorfológicos y evolución costera. II Reunión de Geomorfología Litoral*. Cursos e Congresos da Universidade de Santiago de Compostela, n.º 145. pp 37-50.
- BAGNOLD, R. A., 1941. *The physics of blown sand desert dunes*. London: Methuen, 265 p.
- BAGNOLD, R. A., 1973. The nature of saltation and of bedload transport in water. *Proceedings of the Royal Society of London Series A* 157: 594-620.
- BAKKER, T. W. M., 1990. The geohydrology of coastal dunes. En: Bakker, Th. W., Jungerius, P. D. & Klijn, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts. Catena, Supplement* 18: 109-119.
- BARRAGÁN, J. M., 2004. *Las áreas litorales en España*. Barcelona: Ariel. 214 p.

- BARTOLOMÉ, C., ALVAREZ, J., VAQUERO, J., COSTA, M., CASERMEIRO, M. A., GIRALDO, J. & ZAMORA, J., 2005. *Los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General para la Biodiversidad. 283 p.
- BELLY, P., 1964. *Sand Movement by Wind*. Technical Memorandum. Washington DC: US Army Coastal Engineering Research Center 1.
- BEN SALEM, M. B. (dir.), 1988. *Manuel de fixation des dunes*. Cahier FAO Conservation 18. n.º 57 p.
- BENAVENT, J. M., COLLADO, F., MARTÍ, R. M. MUÑOZ, A., QUINTANA, A., SÁNCHEZ, A. & VIZCAÍNO, A., 2004. *La restauración de las dunas litorales de la Devesa de l'Albufera de Valencia*. Ajuntament de Valencia. 67 p.
- BIGARELLA, J. J., 1972. Eolian environments: their characteristics, recognition and importance. En: Rigby, J. K. & Hamblin, W. K. (eds.). *Recognition of Ancient Sedimentary Environments*. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Sp. Publ. 16. pp 12-62.
- BIGARELLA, J. J., 1975. Structures developed by dissipation of dune and beach ridge deposits. *Catena* 2: 107-152.
- BIRD, E. C. F., 1965. The formation of coastal dunes in the humid tropics: some evidences from North Queensland. *Australian Journal of Sciences* 27: 258-259.
- BIRD, E. C. F., 1990. Classification of European dune coasts. En: Bakker, Th. W., Jungerius, P. D. & Klijin, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts*. *Catena, Supplement* 18: 15-24.
- BISAL, F. & NIELSEN, K. C., 1962. Movement of soil particles in saltation. *Canadian Journal of Soil Science* 42: 81-86.
- BODÉRÉ, J. C. L., CRIBB, R., CURR, R. C. F., DAVIES, P., HALLÉGOUE, B., MEUR, C., PIROU, N., WILLIAMS, A. T. & YONI, C., 1991. La gestion des milieux dunaires littoraux. Evaluation de leur vulnérabilité a partir d'une liste de controle. Etudes cas dans le sud de Pays de Galles et en Bretagne Occidentale. *Norvis* 38 (151): 279-298.
- BRESSOLIER, C., FROIDEFOND, J. M. & THOMAS, Y. F., 1990. Chronology of coastal dunes in the South-West of France. En: Bakker, Th. W., Jungerius, P. D., Klijin, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts*. *Catena Supplement*, 18: 101-107.
- CALDAS, F. B. & HONRADO, J. J., 2001. Flora and vegetation of the Atlantic dunes of the Northwest coast of Portugal. En: J. A. Houston, Edmondson, S. E. & Rooney, P. J. (eds.). *Coastal dune management*. Shared experience of European conservation practice. Liverpool University Press. pp 336-342.
- CARTER, R. W. G., 1986. The morphodynamics of beach ridge development, Magilligan, Northern Ireland. *Marine Geology* 73: 191-214.
- CARTER, R. W. G., 1988. *Coastal environments*. Academic Press 617 p.
- CARTER, R. W. G. & CHANCE, S., 1997. Integrated management of coastal dunes in Ireland: assessment and example. En: García Novo, F., R. M. M. Crawford & Díaz Barradas, M. C. (eds.). *The ecology and conservation of European dunes*. Universidad de Sevilla. pp 301-312.
- CARTER, R. W. G., HESP, P. A. & NORDSTROM, K. F., 1990a. Erosional landforms in coastal dunes. En Nordstrom, K. F., Psuty, N. & Carter, R. W. C. (eds.). *Coastal dunes, form and processes*. John Wiley & Sons, Inc. pp 217-250.
- CARTER, R. W. G., NORDSTROM, K. F. & PSUTY, N. P., 1990b. The study of coastal dunes. En: K. Nordstrom, F., Psuty, N. P. & Carter, B. (eds.). *Coastal dunes. Form and Process*. Chichester: Wiley and Sons. pp. 1-16.
- CHUVIECO, E., 2000. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Rialp. 568 p.
- CLEMENTE, L., SILJESTRÖM, P. & RODRÍGUEZ, A., 1997. Relación suelo/geomorfología en el Parque Nacional de Doñana. *Cuaternario y Geomorfología* 11 (1-2): 33-41.
- C.M.A. (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE), 1998. *Reconocimiento biofísico de espacios naturales. Doñana: una aproximación ecosistémica*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla: 526 p + 1 mapa ecológico.
- COMISIÓN EUROPEA, 2004. *EUROSION Report: Living with coastal erosion in Europe. A guide to coastal erosion management practices in Europe*. Directorate General Environment. 165 p.
- COOKE, R. U. & WARREN, A., 1973. *Geomorphology in Deserts*. London: Batsford. 349 p.
- COOPER, W. S., 1958. *Coastal sand dunes of Oregon and Washington*. Geological Society of America Memorials, n.º 72. 169 p.

- CORTÉS MACÍAS, R., 1996. La formación de suelos sobre dunas costeras. En: Grandal, A. & Pagés, L. (eds.). *IV Reunión Nacional de Geomorfología*, Cuad. Lab. Xeol. Laxe, La Coruña, n.º 21. pp 597-603.
- COSTA, M., 1986. *La vegetació al País Valencià*. Universitat de València.
- COSTA, M., 1987. La vegetación. En: *El Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana*. Valencia: Generalitat Valenciana. pp 56-63. 417 p.
- COSTA, M. & MANSANET, J., 1981. Los ecosistemas dunares levantinos: La Devesa de l'Albufera de Valencia. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 37(2): 277-299.
- COSTA, M., PERIS, J. B. & FIGUEROLA, R., 1983. *La vegetación de la Devesa de la Albufera*. Monografías n.º 01. Ayuntamiento de Valencia.
- COSTA, M., PERIS, J. B. & STUBING, G., 1986. *Ecosistemas vegetales del litoral mediterráneo español*. Madrid: MOPU.
- CRAWFORD, R. M., 1989. *Studies in Plant Survival*. Oxford: Blackwell. 296 p.
- CROS, L. & SERRA, J., 1993. A complex dune system in Baix Empordà (Catalonia, Spain). En: Pye, K. (ed.). *The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems*. Geol. Soc. Spec. Publ. n.º 72. pp 191-199.
- CROUS BOU, A. & PINTÓ, J., 2004. Análisis de la evolución de la línea de costa en la playa de La Marquesa (Delta del Ebro). En: Blanco, R., López, J. & Pérez Alberti, A. (eds.). *Procesos geomorfológicos y evolución costera*. Univ. de Santiago de Compostela. pp 139-154.
- CUERDA, J. & SANJAUME, E., 1978. Datos paleontológicos y sedimentológicos del litoral pleistoceno de Santa Pola. *Cuadernos de Geografía* 23: 19-96.
- DE FELIPE, G. & VIZCAINO, A., 1987. Espacios naturales: el caso de la Devesa de l'Albufera. En: *El Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana. pp 144-149.
- DGCN (DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA), 1999. *Estrategia española para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 160 p.
- DEL RÍO, L., 2007. *Riesgos de erosión costera en el litoral atlántico gaditano*. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Cádiz. 496 p.
- DÍAZ, M. C., BARRADAS, A. & FIGUEROA, M. E., 1985. Influencia dos processos geomorfológicos do sistema de dunas vivas do Parque Nacional de Doñana nas povoacoes de Pinheiro Manso (*Pinus pinea* L.). En: *I Reun. Cuat. Ibérico*, GETC & GTPEQ, Lisboa. Vol. I: 545-557.
- DÍAZ, M. C. & GARCÍA NOVO, F., 1997. The architecture of pioneer dune scrub. En: García Novo, F., Crawford, R. M. M. & Díaz Barradas, M. C. (eds.). *The ecology and conservation of European dunes*. University of Sevilla. pp 123-134.
- DRAGA, M., 1983. Eolian activity as a consequence of beach nourishment observations at Westerland (Sylt), German North Sea coast. *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.-Bd.* 45: 303-319.
- ESCARRÉ, A., MARTÍN, J. & SEVA, E. (eds.), 1989. *Estudios sobre el medio y la biocenosis en los arenales costeros de la provincia de Alicante*. Diputación Provincial de Alicante. Instituto de Cultura Juan Gil-Albert. 132 p.
- ESTEBAN, V., 1996. Modelización de los depósitos eólicos y marinos de la Serra Gelada (Les Penyes de L'Albir). *Cuadernos de Geografía* 60: 363-373.
- ESTEBAN, V. & ROSSELLÓ, V. M., 1996. Formes terrestres, diposits eòlics i marins de la Serra Gelada. *Cuadernos de Geografía* 60: 223-242.
- FERNANDES, J. J. & NEVES, M. R., 1997. The impact of tourism on the sand dune system of the Ria Formosa Natural Park. The case of Ançao Peninsula. En: García Novo, F., Crawford, R. M. M. & Díaz Barradas, M. C. (eds.). *The ecology and conservation of European dunes*. Universidad de Sevilla. pp 321-333.
- FERNÁNDEZ, E. & GARROTE, J., 2002. Geomorfología y restauración dunar. En: Serrano, E., García de Celis, A., Guerra, J. C., Morales, C. G. & Ortega, M. T. (eds.). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología*. VII Reunión Nacional Geomorfología. SEG y Universidad de Valladolid. pp 53-65.
- FLOR, G., 1990. Tipología de dunas eólicas. Procesos de erosión-sedimentación costera y evolución litoral de la provincia de Huelva (Golfo de Cádiz occidental, Sur de España). *Estudios Geológicos* 46: 99-109.
- FLOR, G., 1992. Tipología, catalogación y tendencias de los procesos de erosión/sedimentación en los campos dunares de la costa de Galicia (NW de España). *Thalassas* 10: 9-39.

- FLOR, G., 1997. Campos dunares eólicos costeros. En: Pendón, G. (ed.). *Geología costera: Algunos aspectos metodológicos y ejemplos locales*. Universidad de Huelva. pp 151-172.
- FLOR, G., 1998. Classification and characterization of eolian dunes in temperate rocky coasts. The spanish peninsular eolian fields. En: Soares de Carvalho, G., Veloso, F. & Taveira, F. (eds.). *Dunas da Zona Costeira de Portugal*. Eurocoast - Portugal, Fundação para a Ciência e a Tecnologia. pp 29-42.
- FLOR, G., 2004. *Geología Marina*. Universidad de Oviedo. Departamento de Geología. Servitec. 576 p.
- FLOR, G., 2004. Modelos evolutivos de los grandes campos dunares de Asturias. El factor antrópico. En: Blanco, R., López, J. & Pérez Alberti, A. (eds.). *Procesos geomorfológicos y evolución costera. II Reunión Nacional Geomorfología*. Cursos e Congresos da Universidade de Santiago de Compostela n.º 145. pp 167-181.
- FONTÁN, A., DE SANTIAGO, I., CUEVAS, N., VEGA, P. & ALCÁNTARA-CARRIÓ, J., 2007. Balance sedimentario anual en las playas de Maspalomas y El Inglés (Islas Canarias). En: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB & SEG. pp 31-35.
- FRAGA, P. & ROIG, F. X., 2007. Sistemas dunares y diversidad florística en Menorca. En: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB & SEG. pp 141-145.
- FRYBERGER, S. G., 1979. Dune forms and wind regimes. En: McKee, E. D. (ed.). *Study of global sand seas*. US Geol. Survey Prof. Paper n.º 1052.
- FRYBERGER, S. G. & SCHENK, J. R., 1981. Wind sedimentation tunnel experiments on the origins of eolian strata. *Sedimentology* 28: 805-821.
- GARCÍA MORA, M. R., GALLEGU, J. B. & GARCÍA NOVO, F., 1997. Valoración del estado actual de los sistemas dunares activos en el litoral suratlántico ibérico. En: Rodríguez Vidal, J. (ed.). *Cuaternario Ibérico*. Huelva: AEQUA. 159 p.
- GARCÍA NOVO, F., 1997. The ecosystems of Doñana National Park. En: García Novo, F., Crawford, R. M. M. & Díaz Barradas, M. C. (eds.). *The ecology and conservation of European dunes*. Universidad de Sevilla. pp 97-116.
- GÉHU, J. M., 1985. *European dune and shoreline vegetation*. Estrasburgo-Bruselas: Consejo de Europa.
- GIMINGHAM, C. H., RITCHIE, W., WILLETS, B. B. & WILLIS, A. J., 1989. Coastal sand dunes. *Proceedings of the Royal Society of Edimburg*, Section B (Biological Sciences). 313 p.
- GOLDSMITH, V., 1973. Internal geometry and origin of vegetated coastal sand dunes. *Journal of Sedimentary Petrology* 43: 1128-1143.
- GOLDSMITH, V., 1985a. Coastal dunes. En: Davis Jr., R. A. (ed.). *Coastal sedimentary environments*. Springer-Verlag. pp 303-378.
- GOLDSMITH, V., 1985b. Coastal sand dunes as geomorphological systems. En: Gimingham, C. H., Ritchie, W., Willets, B. B. & Willis, A. J. (eds.). *Coastal and Dunes. Proceedings of the Royal Society of Edinbourg* 96 B. pp 3-15.
- GOLDSMITH, V., ROSEN, P. & GERTNER, Y., 1988. *Eolian sediment transport on the Israeli coast*. Final Report. Haifa, Israel: National Oceanographic Institute.
- GÓMEZ-ZOTANO, J., 2007. Cartografía diacrónica y evolución geomorfológica reciente del paisaje dunar del litoral de Estepona (Málaga). En: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB IMEDEA, SHNB & SEG. 121 p.
- GÓNZALEZ MÓSTOLES, V. (coord.), 1981. *Estudios previos para la Ordenación del Monte de la Dehesa del Saler*. Ayuntamiento de Valencia. 93 p.
- 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* SI 48: 55-63.
- GUILLÉN, J., 2000. Variabilidad del tamaño de sedimento en la zona litoral. En: J. R. de Andrés & F. J. Gracia (eds.). *Geomorfología litoral. Procesos activos*. Monografías SEG, n.º 7. ITGE, Universidad de Cádiz. pp 45-60.
- HERNÁNDEZ CALVENTO, L., 2005. Costa Sur: Maspalomas. En: Hernández, L., Alonso, I., Mangas, J. & Yanes, A. (eds.). *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. pp 271-289.
- HERNÁNDEZ CALVENTO, L. & MANGAS, J., 2004. Caracterización de los materiales sedimentarios aflorantes en el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En: Blanco, R., López, J. & Pérez Alberti, A. (eds.). *Procesos*

- geomorfológicos y evolución costera*. Universidad de Santiago de Compostela. pp 67-81.
- HERNÁNDEZ CALVENTO, L., RUIZ, P., PÉREZ-CHACÓN, E., ALONSO, I., ALCÁNTARA, J. & SUÁREZ, C., 2005. Transformaciones ambientales en ecosistemas dunares inducidas por el desarrollo turístico: El ejemplo de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En: Sanjaume, E. & Mateu, J. F. (eds.). *Geomorfología Litoral i Quaternari. Homenatge a V. M. Rosselló*. Universitat de València. pp 203-214.
- HERNÁNDEZ CALVENTO, L., OJEDA, J., SÁNCHEZ, N. & MÁYER, P., 2007. Aproximación al análisis del desplazamiento de las dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB & SEG. pp 107-111.
- HERNÁNDEZ, A. I., PÉREZ-CHACÓN, E. & HERNÁNDEZ, L., 2006. Vegetation colonisation processes related to a reduction in sediment supply to the coastal dune field of Maspalomas (Gran Canaria, Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Research* SI 48: 69-76.
- HESP, P., 1981. The formation of shadow dunes. *Journal of Sedimentary Petrology* 51: 101-112.
- HESP, P. A., 1984. Foredune formation in Southeast Australia. En: Thom, B. G. (ed.). *Coastal Geomorphology in Australia*. Sydney. pp 69-97.
- HESP, P. A., 1988. Foredune morphology, dynamics and structures. *Journal of Sedimentary Geology* SI 55: 17-41.
- HESP, P. A., 1988. Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology* 55: 17-41.
- HESP, P. A., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology* 48: 245-268.
- HESP, P. A., 1989. A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh Section B* 96: 181-201.
- HESP, P. A., ILLENBERGER, W., RUST, I., McLA-CHLAN, A. & HYDE, R., 1989. Some aspects of transgressive dunefield and transverse dune geomorphology and dynamics, south coast, South Africa. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl.-Bd.* 73: 111-123.
- HOOPS, R. J., GIMINGHAM, C. H. & BAND, W. T., 1983. The effects of planting technique on the growth of *Ammophila arenaria* (L.) Link and *Leymus arenarius* (L.) Hochst. *Journal of Applied Ecology* 20: 659-672.
- HORIKAWA, K. (ed.), 1988. *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*. Tokyo University Press. 522 p.
- HOTTA, S., KRAUS, N. C. & HORIKAWA, K., 1987. Function of sand fences in controlling wind-blown sand. *Coastal Sediments 87*: 772-787. New York: American Society of Civil Engineers.
- HOUSTON, J. A., EDMONDSON, S. E. & ROONEY, P. J. (eds.), 2001. *Coastal dune management. Shared experience of European conservation practice*. Liverpool University Press. 458 p.
- HOYT, J. H., 1966. Air and sand movements to the lee of dunes. *Sedimentology*, 7: 137-143.
- HUNTER, R. E & RICHMOND, B. M., 1988. Daily cycles in coastal dunes. *Sedimentary Geology* 55: 43-67.
- ILLENBERGER, W. K. & RUST, I. C., 1988. A sand budget for the Alexandria coastal dunefield, South Africa. *Sedimentology* 35: 513-521.
- INMAN, D. L., EWING, G. C. & CORLISS, J. B. (1966). Coastal sand dunes of Guerrero Negro, Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 77: 787-802.
- IRIARTE, E., MONGE GANUZAS, M. & CEARRETA, A., 2004. Fases de crecimiento y estructura interna en una duna costera en regeneración (Reserva de la Biosfera de Urdaibai, País Vasco). *Geogaceta* 36: 139-142.
- JACKSON, N. L. & COOPER, J. A. G., 1999. Beach fetch distance and aeolian sediment transport. *Sedimentology* 46: 517-522.
- JACKSON, N. L. & NORDSTROM, K. F., 1997. Field investigation of the effects of surface drying on sediment transport rates across a beach, Wildwood, New Jersey, USA. *Earth Surface Processes and Landforms* 22: 611-621.
- JAYAPPA, K. S., MITRA, D. & MISHRA, A. K., 2006. Coastal geomorphology and land-use and land-cover study of Sagar Island, Bay of Bengal (India) using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 27 (17): 3671-3682.
- JENSEN, A. L. & SORESENSEN, M., 1986. Estimation of some aeolian saltation transport parameters: a reanalysis of Williams' data. *Sedimentology* 33: 547-558.

- JIMÉNEZ, J. A. & SÁNCHEZ-ARCILLA, A., 1993. Medium-term coastal response at the Ebro delta, Spain. *Marine Geology* 114: 105-118.
- JIMÉNEZ, J. & SÁNCHEZ-ARCILLA, A., 1997b. El problema erosivo en el Delta del Ebro. *Revista de Obras Públicas* 3368: 23-32.
- JIMÉNEZ, J. A., SÁNCHEZ ARCILLA, A., BOU, J. & ORTIZ, M. A., 1997. Analysing short-term shoreline changes along the Ebro Delta (Spain) using aerial photographs. *Journal of Coastal Research* 13 (4): 1256-1266.
- JUNGERIUS, P. D. & VAN DER MEULEN, F., 1988. Erosin processes in a dune landscape along the Dutch coast. *Catena* 15: 217-228.
- KLIJN, J. A., 1990. Dune forming factors in a geographical context. En Bakker, Th. W., Jungerius, P. D. & Klijn, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts. Catena, Supplement* 18: 1-13.
- LANCASTER, N., 1985. Variations in wind velocity and sand transport on the windward flanks of desert sand dunes. *Sedimentology* 32: 581-593.
- LANCASTER, N., 1988. The development of large aeolian bedforms. *Sedimentary Geology* 55: 69-89.
- LEY, C., GALLEGO, J. B. & VIDAL, C., 2007. *Manual de restauración de dunas costeras*. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas. 248 p.
- LORIENTE, E., 1975. Nueva asociación psammófila para las dunas muertas de la costa santanderina. *Anales del Instituto Botánico Cavanilles* 32: 441-452.
- MARQUÉS, M. A. & JULIÀ, R., 1986. Fluvia and Muga delta plain geomorphological features and evolution Alt Emporda-Gulf of Roses. *Thalassas* 4 (1): 123-134.
- MARTÍ, R. M. & QUINTANA, A., 2007. Las dunas litorales de la Devesa de L'Albufera de Valencia. En Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB & SEG. pp 133-135.
- MARTÍN-PRieto, J. A., ROIG-MUNAR, F. X. & RODRÍGUEZ-PEREA, A., 2007. Análisis espacio-temporal (1956-2005) de la foredune de Cala Mesquida (N Mallorca) mediante el uso de variables geoambientales y antrópicas. En: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB & SEG. pp 137-140.
- MARTÍNEZ, J., 1986. *Las dunas de Maspalomas*. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. Universidad Politécnica de Las Palmas.
- MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, M. L., GALLEGO, J. B., GARCÍA, J., MOCTEZUMA, C. & JIMÉNEZ, C. D., 2006. Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation* 33: 109-117.
- MATEU, J. F. & CUERDA, J., 1978. Morfología cuaternaria de la costa entre L'Altet y el Cap de santa Pola. *Cuadernos de Geografía* 23: 63-82.
- MATEU, J. & SANJAUME, E., 1981. Formaciones continentales y marinas en el cierre de la Laguna de Torre Vieja. En: *Actas V Reunión del Grupo de Trabajo del Cuaternario*. Sevilla. pp 69-86.
- McKEE, E. D., 1966. Structure of dunes at White Sands National Monument, New Mexico. *Sedimentology* 3: 1-69.
- McKEE, E. D., 1983. Eolian sand bodies of the world. En: Brookfield, M. E., Ahlbrandt, T. S. (eds.). *Eolian Sediments and Processes*. Amsterdam: Elsevier. pp 1-26.
- MELIÁN, B., HERNÁNDEZ, A., MENÉNDEZ, I., MANGAS, J., MARTÍN, M. & SÁNCHEZ, I., 2005. Evolución freática de los espacios interdunares de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias): Resultados preliminares. En: Hernández, L., Alonso, I., Mangas, J. & Yanes, A. (eds.). *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral. III Jornadas de Geomorfología Litoral*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. pp 143-147.
- MERINO, O. & MERINO, Y., 1988. El impacto potencial de la explotación del acuífero Almonte-Marismas en los ecosistemas del área de Doñana. En: *Intern. Symp. On Hydrology of Wetlands in Arid and Semi-arid Zones*. Sevilla: Agencia del Medio Ambiente. pp 123-128.
- MITASOVA, H., OVERTON, M. & HARMON, R. S., 2005. Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology* 72: 204-221.
- MONGE GANUZAS, M., IRIARTE, E. & CEARRETA, A., 2003. Regeneración dunar en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Vizcaya, País Vasco). *Geogaceta* 34: 119-122.
- MOPU (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO), 1989. Guía de las costas de España. *Revista de Obras Públicas MOPU*, n.º 367.

- MORTON, R. A., LEACH, M. P., PAINE, J. G. & CARDOZA, M. A., 1993. Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. *Journal of Coastal Research*, 9 (3): 702-720.
- MÜCHER, H. J., 1990. Micromorphology of dune sands and soils. En: Bakker, Th. W., Jungerius, P. D. & Klijn, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts. Catena Supplement* 18: 163-171. 223 p.
- NICKLING, W. G., 1984. The stabilizing role of bonding agents on the entrainment of sediment by wind. *Sedimentology* 31: 111-117.
- NICKLING, W. G., 1988. The initiation of particle movement by wind. *Sedimentology* 35: 499-511.
- NICKLING, W. G. & DAVIDSON-ARNOTT, R. G. D., 1990. Aeolian sediment transport on beaches and coastal sand dunes. En: Davidson-Arnott, R. G. D. (ed.). *Proceedings of the Symposium on Coastal Sand Dunes*. Ottawa: National Research Council Canada. pp 1-35.
- NICKLING, W. G. & ECCLESTONE, M., 1981. The effects of soluble salts on the threshold shear velocity of fine sand. *Sedimentology* 28: 505-510.
- NORDSTROM, K. F., 2000. *Beaches and Dunes of Developed Coasts*. Cambridge University Press. 338 p.
- NORDSTROM, K. F., LAMPE, R. & VANDEMARK, L. M., 2000. Re-establishing naturally-functioning dunes on developed coasts. *Environmental Management* 25: 37-51.
- NORDSTROM, K. F., PSUTY, N. & CARTER, B. (eds.), 1990. *Coastal dunes, form and processes*. John Wiley & Sons, Inc. 392 p.
- OJEDA, J., 2000. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la AGE* 30: 103-118.
- OJEDA, J., BORNIET, L., PÉREZ, A. M. & LODER, J. F., 2002. Monitoring morphological changes along the coast of Huelva (SW Spain) using soft-copy photogrammetry and GIS. *Journal of Coastal Conservation* 8: 69-76.
- OJEDA, J. & VALLEJO, I., 2004. El empleo de los modelos digitales del terreno (MDTs) para la caracterización geomorfológica del sistema de dunas móviles del Parque Nacional de Doñana (Huelva). En: Blanco, R., López, J. & Pérez Alberti, A. (eds.). *Procesos geomorfológicos y evolución costera*. Universidad de Santiago de Compostela. pp 119-132.
- OJEDA, J., VALLEJO, I. & MALVAREZ, G. C., 2005. Morphometric evolution of the active dunes system of the Doñana National Park, Southern Spain (1977-1999). En: Alcántara, J. & Tena, J. (eds.). *Coastal erosion. Journal of Coastal Research* SI 49: 40-45.
- OJEDA, J., VALLEJO, I. & HERNÁNDEZ, L., 2007. Utilidades de la tecnología LIDAR en la caracterización morfométrica de sistemas dunares: El caso de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB & SEG. pp 113-117.
- OLSON, Y. S. & VAN DER MAAREL, E., 1989. Coastal dunes in Europe: a global view. En: Van der Meulen, F., Jungerius, P. D. & Visser, J. (eds.). *Perspectives in coastal dune management*. La Haya: SPB Academic Publication. pp 3-32.
- PALANQUES, A. & GUILLÉN, J., 1998. Coastal changes in the Ebro delta: natural and human factors. *Journal of Coastal Conservation* 4: 17-26.
- PARDO, J. E., GARCÍA, L., PALOMAR, J. & GARRIGUES, P., 2005. New methods and tools to analyze beach-dune system evolution using a Real-Time Kinematic Global Positioning System and Geographic Information Systems. En: Alcántara, J. & Tena, J. (eds.). *Coastal erosion. Journal of Coastal Research* SI 49: 34-39.
- PARDO, J. E., GARCÍA, L., GARRIGUES, P., PALOMAR, J. & PORRES, M. J., 2007. Caracterización tridimensional de la dinámica intranual e interanual de la playa del Saler. En: Gómez-Pujol, L. & Fornós, J. J. (eds.). *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. UIB, IMEDEA, SHNB & SEG. pp 41-42.
- PARDO, J. E., SANJAUME, E., GIRONÉS, M. J. & LÓPEZ GALERA, M. N., 2005. Análisis del proceso de regeneración natural de las dunas de la Punta del Perellonet entre 1973 y 2001. En: Sanjaume, E. & Mateu, J. F. (eds.). *Geomorfología Litoral i Quaternari. Homenatge a V. M. Rosselló*. Universitat de València. pp 307-324.
- PASKOFF, R., 1989. Las dunas del litoral. *Mundo Científico* 95: 958-965.
- PLUIS, J. L. A. & DE WINDER, B., 1990. Natural stabilization. En: Bakker, Th. W., Jungerius, P. D., Klijn, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts. Catena, Supplement*, 18: 195-208. 223 p.

- PRANZINI, E. & SIMEONI, V., 2005. Morfología de las dunas costeras. En: V. Macchia, Pranzini, E. & Tomei, P. E. (eds.). *Le dune costiere in Italia*. pp 93-114. La natura e il paesaggio. Pisa: Felici Editore.
- PSUTY, N. P., 1986. Principles of dune-beach interaction related to coastal management. *Thalassas* 4: 11-15.
- PYE, K., 1980. Beach salcrete and eolian sand transport evidence from North Queensland. *Journal of Sedimentary Petrology* 50: 257-261.
- PYE, K., 1983a. Dune formation on the humid tropical sector of the North Queensland coast, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms* 8: 371-381.
- PYE, K., 1983b. Early post-depositional modification of aeolian dune sands. En: Brookfield, E. & Ahlbrandt, T. (eds.). *Eolian sediments and processes*. Amsterdam: Elsevier. pp 197-221.
- PYE, K., 1983c. Coastal dunes. *Progress in Physical Geography* 7: 531-557.
- PYE, K. & TSOAR, H., 1990. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. London: Unwin Hyman. 396 p.
- QUIGLEY, M. B., 1991. *A guide to the sand dunes of Ireland*. Dublin: European Union for Dune Conservation and Coastal Management. Fodhla Printing. 93 p.
- RAMÍREZ, J. L. & LEY, C., 1997. Recuperación ambiental del arenal de Liencres. Playa de Valdearenas, T. M. de Piélagos (Cantabria). *IV Jornadas españolas de Ingeniería de Puertos y Costas*. Cádiz: Universidad Politécnica de Valencia. pp 829-842.
- RANWELL, D. & BOAR, J., 1986. *Coastal dune management guide*. Institute for Terrestrial Ecology, NERC.
- RIQUELME, J., 1996. Estructuras internas de las oelianitas de les Penyes de l'Albir. *Cuadernos de Geografía* 60: 341-361.
- RIQUELME, J., 2005. Las eolianitas pleistocenas entre la Punta de Moraira y La Penya d'Ifac (litoral valenciano). En: Sanjaume, E. & Mateu, J. F. (eds.). *Geomorfología Litoral i Quaternari. Momentatge al professor V. M. Rosselló*. Universitat de València. pp 383-398. 508 p.
- RIQUELME, J. & BLAZQUEZ, A. M., 2002. Caracterización de las eolianitas cuaternarias entre Cap Blanc y el Penyal d'Ifac (Litoral Valenciano). *Cuadernos de Geografía* 69/70: 163-186.
- RITCHIE, W., 1993. Coastal sand dunes: natural stability and artificial stabilisation. En: Dawson, A. H., Jones, H. R., Small, J. & Soulsby, J. A. (eds.). *Scottish Geographical Studies*. University of Dundee and St. Andrews. pp 73-87.
- RITCHIE, W., 2001. Coastal dunes: resultant dynamic position as a conservation managerial objective. En: Houston, J. A., Edmondson, S. E. & Rooney, P. J. (eds.). *Coastal dune management. Shared experience of European conservation practice*. Liverpool University Press. pp 1-14.
- RODRÍGUEZ PEREA, A., CORBI, A. M. & SERVERA, J., 1990. El sistema dunar de Sa Canova de Arta (Isla de Mallorca). En: *I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel: t. I. pp 365-374.
- RODRÍGUEZ SANTALLA, I., 2000. Evolución geomorfológica pasada y futura del Delta del Ebro. En V Congreso Geológico de España, S.G.E., Alicante. *Geotemas* 1(1): 189-192.
- ROIG I MUNAR, F. X., JUANEDA, J. & QUINTANA, R. O., 2004. El sistema de dunas remontantes de Cala Macarelleta (Menorca), un sistema condicionado por las orientaciones de umbría y solana. En: Blanco, R., López, J. & Pérez Alberti, A. (eds.). *Procesos geomorfológicos y evolución costera. II Reunión de Geomorfología Litoral*. Cursos e Congresos da Univ. de Santiago de Compostela. pp 133-138.
- ROIG I MUNAR, F. X., MARTÍN-PIRETO, J. A., COMAS, E. & RODRÍGUEZ, A., 2006. Space-time analysis (1956-2004) of human use management of the beach-dune systems of Menorca (Balearic Islands, Spain). *Journal of Coastal Research* SI 48: 107-111.
- ROIG I MUNAR, F. X., RODRÍGUEZ PEREA, A. & MARTÍN, J. A., 2004. Influencia antrópica en la alteración del sistema playa-duna de Son Bou (Menorca). En: Benito, G. & Díez Herrero, A. (eds.). *Contribuciones recientes sobre Geomorfología. Actas VIII Reunión Nacional de Geomorfología*, Toledo: CSIC-SEG, volumen I. pp 375-384.
- ROSSELLÓ, V. M. & FUMANAL, M. P., 1999. Climbing dunes and interbedded rubble fans. Quaternary patterns of Serra Gelada Spanish Mediterranean littoral. *Zeitschrift für Geomorphologie* 43(2): 235-254.
- ROSSELLÓ, V. M. & MATEU, J. F., 1978. El litoral cuaternario de Santa Pola, consideraciones generales. *Cuadernos de Geografía* 23: 1-18.

- SALMAN, A., 1990. The EUDC Conservation Programme. En: *La conservación de las dunas*. Ponencias II. Valencia: Universidad Internacional Menéndez Pelayo.
- SÁNCHEZ, M. J., RODRÍGUEZ, I. & MONTROYA, I., 2007. Short term coastal dune evolution of Fangar Spit (Ebro Delta, Spain). *International Conference on Management and Restoration of coastal dunes*. Santander (España). pp 39-40.
- SANJAUME, E., 1974. El cordón litoral de la Albufera de Valencia: Estudio sedimentológico, *Cuadernos de Geografía* 14: 61-96.
- SANJAUME, E., 1983. Aspectos sedimentológicos de las dunas pleistocenas de la costa alicantina. En: *Actas X Congreso Nacional de Sedimentología*. Menorca. pp 213-216.
- SANJAUME, E., 1985. *Las costas valencianas. Sedimentología y morfología*. Universidad de Valencia. 502 p.
- SANJAUME, E., 1985b. La calcoarenita de la restinga dels Estanys d'Almenara, en *Pleistoceno y Geomorfología Litoral. Libro Homenaje a J. Cuerda*. Universidad de Valencia. pp 176-188.
- SANJAUME, E., 1988. Dunes of Saler, Valencia, Spain, *Journal of Coastal Research* Special Issue 3: 61-69.
- SANJAUME, E., 1992a. The Valencian coast: human impact and dune conservation, *Coastline* 1(2): 10-14.
- SANJAUME, E., 1992b. Conservation and restoration of the Devesa de l'Albufera, *Proceedings European Coastal Conservation Conference*, 1991. The Hague: Scheveningen. pp 46-47.
- SANJAUME, E. & CARMONA, P., 1995. L'Albufera de Valencia: rasgos geomorfológicos y evolución cuaternaria. En: Fumanal, P. (ed.). *El Cuaternario del País Valenciano*. Universitat de València. pp 155-161.
- SANJAUME, E., FUMANAL, M. P. & PÉREZ CUEVA, A., 1985. El litoral pleistoceno de Formentera. En: *Actas I Reunión de Cuaternario Ibérico*. Lisboa. pp 419-434.
- SANJAUME, E. & GOZÁLVEZ, V. 1978. L'Albufera d'Elx y su litoral. *Cuadernos de Geografía* 23: 83-106.
- SANJAUME, E. & PARDO, J. E., 1989. Sea level rise impact on the precarious dunes of Devesa del Saler beach, Valencia, Spain. En: *LICC (Landscape Ecological Impact of Climatic Change) Conference*. Lunteren, Holanda. p 13.
- SANJAUME, E. & PARDO, J. E., 1991a. Dune regeneration on a previous destroyed dune field, *Zeitschrift für geomorphologie* 81: 125-184.
- SANJAUME, E. & PARDO, J. E., 1991b. The possible influence of sea-level rise on the precarious dunes of Devesa del Saler Beach, Valencia, Spain, *Landscape Ecology* 6 (1/2): 57-64.
- SANJAUME, E. & PARDO, J. E., 1992. The dunes of the Valencian coast (Spain): Past and present. En: Carter, Curtis & Sheehy-Skeffington (eds.). *Coastal Dunes*. Rotterdam: Balkema. pp 475-486.
- SANJAUME, E. & PARDO, J. E., 2005. Erosion by human impact on the Valencian coastline. *Journal of Coastal Research* SI 49: 76-82.
- SANJAUME, E. & PARDO, J. E., 2007. Características Geomorfológicas sector Xúquer-Racons. En: Serra, J. (coord.) *Caracterización geomorfológica y de la flora del frente litoral entre las desembocaduras del Júcar y del río Racons y su desarrollo urbano para el desarrollo de los proyectos de regeneración y acondicionamiento del borde litoral*. Valencia: Universidad Politécnica.
- SANJAUME, E., ROSSELLÓ, V. M., PARDO, J. E., CARMONA, P., SEGURA, F. & LÓPEZ, M. J., 1996. Recent coastal changes in the Gulf of Valencia (Spain). En: Kelletat, D. H. (ed.). *Field methods and models to quantify rapid coastal changes*. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl.-Bd. 102: 95-118.
- SANJAUME, E., SEGURA, F. & PARDO, J. E., 1990. Procesos y formas de una albufera en retroceso: el caso de la Albufera de Torreblanca. En: *Actas I Reunión Nacional de Geomorfología*. Teruel. pp 375-384.
- SANJAUME, E. & TOLGENSBARK, J., 2005. Formas de playa en las costas árticas de la península de Varanger. En: Hernández, L., Alonso, I., Mangas, J. & Yanes, A. (eds.). *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral*. Las Palmas: Universidad de las Palmas. pp 37-41. 289 p.
- SARRE, R., 1989. The morphological significance of vegetation and relief on coastal foredune processes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl.-Bd. 73: 17-31.
- SEGURA, F., PARDO, J. & SANJAUME, E., 1997. Evolución cuaternaria de la albufera de Torreblanca, *Cuaternario y Geomorfología* 11 (1-2): 3-18.
- SEGURA, F., SANJAUME, E. & PARDO, J., 1995. Evolución cuaternaria de las albuferas del sector sep-

- tentrional del Golfo de Valencia. En: Fumanal, P. (ed.). *El Cuaternario del País Valenciano*. pp 139-153.
- SERRA, J., RIERA, G., ARGULLOS, J. & PARENTE, L., 1997. El transporte eólico en el Delta del Ebro: evaluación y contribución al modelado litoral. *Boletín Geológico y Minero*, IGME 108-4 y 5: 477-485.
- SERVERA, J. & GRIMALT, M., 1994. Los sistemas dunares de las islas de Formentera y de s'Espalmador. En: Arnáez, J., García Ruiz, J. M. & Gómez, A. (eds.). *Geomorfología en España. Actas III Reunión Nacional de Geomorfología*. Logroño: TI. pp 405-418.
- SERVERA, J. & RIQUELME, J., 2004. L'acció del vent. Sistemes dunars actuals i eolianites. En: Fornós, J., Obrador, A. & Rosselló, I. V. (eds.). *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Palma de Mallorca. Monografía Soc. Hist. Nat. Balears, n.º 11. pp 213-234.
- SERVERA, J. & RODRÍGUEZ, A., 1996. Morfologías parabólicas de los sistemas dunares litorales de Baleares. En: Grandal, A. & Pagés, L. (eds.). *IV Reunión Nacional de Geomorfología*. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, La Coruña, n.º 21. pp 645-658.
- SEVA, E., GUTIERREZ, A., MARTÍN, J. & ESCARRÉ, A., 1989. Plantas psamófilas. En: Escarré, A., Martín, J. & Seva, E. (eds.). *Estudios sobre el medio y la biocenosis en los arenales costeros de la provincia de Alicante*. Diputación Provincial de Alicante. Alicante: Instituto de Cultura Juan Gil-Albert. pp 63-72. 132 p.
- SHANMUGAM, S. & BARNESLEY, M., 2002. Quantifying landscape-ecological succession in a coastal dune system using sequential aerial photography and GIS. *Journal of Coastal Conservation* 8: 61-68.
- SHARP, R. P., 1966. Kelso dunes, Mojave Desert, California. *Geological Society of America Bulletin* 77: 1045-1074.
- SHERMAN, D. J., 1995. Problems of scale in the modeling and interpretation of coastal dunes. *Marine Geology* 124: 339-349.
- SHERMAN, D. J. & HOTTA, S., 1990. Aeolian sediment transport: theory and measurement. En: Nordstrom, K. F., Psuty, N. & Carter, R. W. C. (eds.). *Coastal Dunes: Form and Process*. Chichester. John Wiley. pp 17-37.
- SHERMAN, D. J., JACKSON, N. L., NORDSTROM, K. F., HESP, P. A. & ARENS, S. M., 2005. Predicting maximum and minimum aeolian sand transport rates to provide a basis for assessing management actions for beaches and dunes. En: Sanjaume, E., Mateu, J. F. (eds.). *Geomorfologia Litoral i Quaternari. Momenatge a V. M. Rosselló*. Universitat de València. pp 483-496. 508 p.
- SHORT, A. & HESP, P. A., 1982. Wave, beach and dune inter-actions in southeastern Australia. *Marine Geology* 48: 259-284.
- SIDDIQUIE, H. N., 1966. Provenance of the dune sands of the Balasore coast, Orissa. *Records of the Geological Survey of India* 94: 229-244.
- SVASEK, J. N. & TERWINDT, J. H. J., 1974. Measurements of sand transport by wind on a natural beach. *Sedimentology* 21: 311-322.
- SWAN, B., 1979. Sand dunes in the humid tropics: Sri Lanka. *Zeitschrift für Geomorphologie* 23(2): 152-171.
- SWART, D. H. & REYNEKE, P. G., 1988. The role of drift-sands at Waenhuiskrans, South Africa. *Journal of Coastal Research* SI 3: 97-102.
- THIELER, E. R., MARTIN, D. & ERGUI, A., 2003. *The Digital Shoreline Analysis System, version 2.0: Shoreline change measurement software extension for ArcView*. USGS Open-File Report n.º 2003-076.
- THOMAS, Y. F., 1973. Dynamique sédimentaire à la Pointe de la Coubre. *Norvís* 79: 547-550.
- TOMEI, P. E., MACCHIA, V. E. & NARDUCCI, R., 2005. Flora e vegetazione delle dune costiere. En: Macchia, V., Pranzini, E. & Tomei, P. E. (eds.). *Le dune costiere in Italia*. La natura e il paesaggio. Pisa: Felici Editore. pp 115-180.
- TSOAR, H., 1990. Trends in the Development of sand dunes along the Southeastern Mediterranean coast. En: Bakker, Th. W., Jungerius, P. D. & Klijn, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts. Catena Supplement*, 18. pp 51-60. 223 p.
- USERA, J. & BLAZQUEZ, A. M., 1996. Foraminíferos cuaternarios en las dunas de la Serra Gelada (Alicante, España). *Cuadernos de Geografía* 60: 327-340.
- VALLEJO, I., 2007. *Caracterización geomorfológica y análisis de la evolución reciente del sistema de dunas activas del Parque Nacional de Doñana (1956-2001)*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. 468 p.
- VALLEJO, I. & OJEDA, J., 2005. Caracterización geomorfológica de la duna costera del Parque

- Nacional de Doñana (Huelva). En: Hernández, L., Alonso, I., Mangas, J. & Yanes, A. (eds.). *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral. III Jornadas de Geomorfología Litoral*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. pp 131-135.
- VALLEJO, I., OJEDA, J. & MÁLVAREZ, G., 2006. Characterization and classification of the beach-dune system of the Doñana National Park, Southern Spain. *Journal of Coastal Research* SI 48: 112-117.
- VAN DER MEULEN, F., 1990. European dunes: consequences of climate change and sea level rise. En Bakker, Th. W., Jungerius, P. D. & Klijn, J. A. (eds.). *Dunes of the European Coasts. Catena Supplement*. 18: 209-223.
- VAN HUIS, J., 1989. European dunes, climate and climatic change, with case studies of the Coto Doñana (Spain) and the Slowinski (Poland) National Parks. En: Van der Meulen, F., Jungerius, P. D. & Visser, J. (eds.). *Perspectives in coastal dune management*. La Haya: SPB Academic Publication. pp 313-326.
- VANNEY, J. R. & MENANTEAU, L., 1979. Types de reliefs littoraux et dunaires en Basse Andalousie (de la Ria de Huelva à l'embouchure du Guadalquivir). *Melanges de la Casa de Velazquez* XV: 1-51.
- VANNEY, J. R., MENANTEAU, L. & ZAZO, C., 1979. Physiographie et evolution des dunes de basse Andalousie (Golfé de Cadix, Espagne). En: *Côtes atlantiques d'Europe, evolution, aménagement, protection*. Actes du Coll. n.º 9. Brest: CNEXO. pp 277-286.
- VIZCAINO, A., SÁNCHEZ, J. & DE FELIPE, G., 1985. Recuperación del paisaje dunar de la Devesa de la Albufera de Valencia. Su problemática. *Revista de la Escuela de Jardinería y Paisaje* 1: 3-7.
- VAN AGT, B. & TEKKE, R., 1991. Spain. EUCC Sand Dune Inventory. En: Doody, P. (ed.). *Sand Dune Inventory of Europe*. EUCC, Joint Nature Conservation Committee. pp 52-56. 80 p.
- VAN BOXEL, J. H., JUNGERIUS, P. D., KIEFFER, N. & HAMPELE, N., 1997. Ecological effects of reactivation of artificially stabilized blowouts in coastal dunes. *Journal of Coastal Conservation* 3: 57-62.
- VAN DER WAL, D., 1998. The impact of the grain-size distribution of nourishment sand on aeolian sand transport. *Journal of Coastal Research* 14: 620-631.
- VERSTAPPEN, H. T., 1957. Short note on the dunes near Parangritis (Java). *Tijdschrift van het Koninklijke Nederlandse Aardrijksk. Genootschap* 74: 1-6.
- WARREN, A., 1979. Eolian processes. En: Embleton, C., Thornes, J. (eds.). *Processes in Geomorphology*. London: Arnold. pp 325-351.
- WILLETS, B., 1983. Transport by wind of granular materials of different grain shapes and densities. *Sedimentology* 30: 669-679.
- WILLIMAS, A. T., DAVIES, P., CURR, R. C. F., KOH, A., BODÉRE, J. CL., HALLÉGOUE, B., MEUR, C. & YONI, C., 1993a. A checklist assessment of dune vulnerability and protection in Devon and Cornwall, UK. En: Magoon, O. T. (ed.). *Coastal Zone'93*. Nueva York: ASCE. pp 3394-3408.
- WILLIAMS, A. T., P. DAVIES, P., CURR, R. C. F. & BODÉRE, J. CL., 1993b. An approach to coastal dune management, the north and west coastline of France. En: Ozhan, E. (ed.). *Medcoast'93*. Ankara: METU. pp 186-197.
- WILLIAMS, A. T., P. DAVIES, P., DIAS, J. M. A., PEREIRA, A. R., MORA, M. R. G. & TEJADA, M., 1994. A re-evaluation of dune vulnerability checklist parameters. *Gaia* 8: 179-182.
- WILLIAMS, A. T., DIAS, J. A., GARCÍA NOVO, M. R., GARCÍA MORA, R., CURR, R. C. F. & PEREIRA, A., 2001. Integrated coastal dune management: checklist. *Continental Shelf Research* 21: 1937-1960.
- WOOLARD, J. W. & COLBY, J. D., 2002. Spatial characterization, resolution and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology* 48: 269-287.
- YAALON, D. H., 1975. Discussion of internal geometry of vegetated coastal dunes. *Journal of Sedimentary Petrology* 45: 359-361.
- ZENKOVICH, V. P., 1967. *Processes of Coastal Development*. Edinburgh: Oliver and Boyd. 738 p.



8. NUEVOS TIPOS DE HÁBITAT DE INTERÉS COMUNITARIO A AÑADIR AL ANEXO I

TIPO I

Nombre: **Dunas móviles costeras no vegetadas**

Definición. Acumulaciones arenosas costeras de origen eólico formando cuerpos móviles de gran tamaño no vegetados y con una acusada movilidad ligada a frentes de avalancha activos.

Descripción. Se trata de grandes dunas móviles, a menudo con alturas superiores a los 20 m, y ligadas a amplias playas azotadas por fuertes vientos. Muchas de ellas tienen un origen antrópico, por intervenciones históricas sobre mantos eólicos previos, que han derivado en la generación de estos grandes edificios móviles. En muchos aspectos, se asemejan a los sistemas dunares desérticos dinámicos y su tipología morfológica está condicionada por la geomorfología costera y por los regímenes de vientos. En ese sentido cabe diferenciar dunas lineales, transversales, en estrella, parabólicas, barjanas, crecientes, inversas, dunas eco, de precipitación, remontantes, etc. Su gran dinamismo impide la colonización estable por plantas pioneras, que rápidamente son enterradas por las arenas móviles.

Distribución nacional

Costa Atlántica

- Lienres (Cantabria), en cordones paralelos a la línea de costa.
- Corrubedo (La Coruña), solitaria.
- Doñana (Huelva), lineales y transversales, distribuidas en grandes cordones paralelos a la línea de costa.

- Sancti Petri – Punta del Boquerón (Cádiz), solitarias, de levante.
- Trafalgar, Bolonia y Punta Paloma-Valdevaqueros (Cádiz), remontantes, de levante.

Costa Mediterránea

- El Fangar (Delta del Ebro, Tarragona), bajanas según varios cordones oblicuos a la línea de costa.
- Santa Pola-Pinet (Alicante), montículos aislados móviles.
- Cabo de Gata (Almería), montículos aislados móviles.

Costa Macaronésica

- Corralejo y Jandía (Fuerteventura), montículos aislados móviles.
- Maspalomas (Gran Canaria), grandes cordones paralelos móviles, oblicuos a la línea de costa.

Prioritario (Sí/No): Sí.

Justificación de la propuesta. Dentro de los tipos de hábitat dunares constituyen sistemas morfológicos singulares y muy dinámicos, escasos en las costas europeas (véase el caso de las dunas de Pilat, en la costa atlántica francesa de Las Landas). Estas grandes dunas aparecen comúnmente acompañadas de otros sistemas dunares menores que constituyen tipos de hábitat de interés comunitario y que reciben aportes sedimentarios de aquéllas, estableciéndose a menudo un importante grado de dependencia entre unas y otras (por ejemplo, Doñana, Trafalgar, Valdevaqueros, Santa Pola). Además, aunque carecen de una cobertera vegetal estable, albergan una interesante fauna de invertebrados especializados, así como con reptiles y aves marinas.



Figura 8.1

Gran duna solitaria móvil no vegetada en la Ensenada de Valdevaqueros (Cádiz).

TIPO 2

Nombre: **Dunas estuarinas con vegetación halófila y subhalófila**

Definición. Depósitos arenosos de origen eólico generados en el interior de estuarios, generalmente en la zona de la bahía arenosa, donde se produce la deflación de la arena durante bajamares, preferentemente en épocas de fuerte insolación.

Descripción. Estas acumulaciones se sitúan en orlas que bordean las llanuras arenosas estuarinas. Se producen dos tipos de acumulaciones:

1. **En áreas supramareales** desligadas totalmente de las oscilaciones mareales y de los eventuales desbordamientos por tormentas de olas (de viento con ocasión de pleamares vivas), cuya vegetación es típicamente continental, más o menos similar a dunas expuestas. Pueden formar mantos en tierra (desligadas del estuario) o formar parte de barreras en el ámbito de las bahías arenosas.
2. **En zonas intermareales**, situándose en la franja superior e, incluso, continuándose por la supramareal; en las primeras, la vegetación coloniza-

dora es de tipo halofítico: *Arthrocnemum perenne* en el contacto con la paya estuarina, pasando a *Halimione portulacoides*, principalmente. En la franja supramareal abundan las especies de corte arbustivo.

En el estuario de Villaviciosa se han detectado dunas colonizadas por ambos tipos de vegetación repartidas en cuatro campos independientes entre sí.

Distribución nacional

En la costa de Cantabria

- Playas del Regatón (estuario del Asón).
- Playa de Laredo.
- Las Arenas (estuario de Ajo; ver figura 8.2).
- Playa de Lienres.
- Cuchía (San Martín de la Arena).
- Tostadero (San Vicente de la Barquera).
- El Sable (Tina Menor; ver figura 8.3).

En la costa de Asturias

- Playas de la ensenada de Misiego y El Bornizal (estuario de Villaviciosa; ver figura 8.4).



Figura 8.2

Fotografía del complejo dunar formando parte de la barrera interna del estuario de Ajo (costa oriental de Cantabria).

Tiene forma arqueada en planta, apuntando hacia el canal principal, con un cordón dunar que orla toda la franja limitante con la playa estuarina.



Figura 8.3

Imagen aérea vertical de la bahía arenosa del estuario de Tina Menor y de las llanuras fangosas septentrionales.

La barrera interna (encerrada en el recuadro elíptico) culmina con depósitos dunares, en fase de erosión en todo su borde occidental.

- Playa de Zeluán (estuario de Avilés).
- Playa de La Poza (estuario del Navia; ver figura 8.5).

Prioritario (Sí/No): Sí.

En la costa de Cádiz

- San Antón-Valdelagrana (estuario del Guadalete).
- Punta del Boquerón (caño marea de Sancti Petri).

Justificación de la propuesta. Debido tanto a su singularidad como a su morfología y sedimentación, o por los tipos de vegetación existentes, que no han sido descritos hasta el momento.



Figura 8.4

Fotografía de unas dunas estuarinas en la bahía arenosa de Misiego (estuario de Villaviciosa), colonizadas por *Halimiones portulacoides*.

Intentan conformar un cordón dunar incipiente con pasillos de erosión por oleaje interno, que se deflacionan intensamente.



Figura 8.5

Fotografía de unas dunas estuarinas tabulares en la bahía arenosa de La Poza (estuario del Navia), en fase de recesión colonizadas por *Eucalyptus* sp.

TIPO 3

Nombre: **Dunas costeras con *Traganum moquinii***

Definición. Primeras dunas que se generan en la playa alta en las zonas de entrada de sedimentos, por la presencia de ejemplares del nanofanerófito *Traganum moquinii*.

Descripción. Debido a las características de esta especie, las dunas no forman cordones propiamente dichos, sino montículos aislados que pueden tener una altura de varios metros. Otras especies asociadas que pueden aparecer, normalmente de forma escasa, son *Atriplex glauca* ssp. *ifniensis*, *Zygophyllum fontanesii*, *Launaea arborecens* y *Polycarpaea nivea*.

Distribución nacional

Exclusivamente en las Islas Canarias (La Graciosa, Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria y Tenerife).

Prioritario (Sí/No): Sí.

Justificación de la propuesta. Si bien este hábitat había sido incorporado en principio al tipo de hábitat de interés comunitario 2130 Dunas costeras fijas con vegetación herbácea (dunas grises*), las características geográficas y ecológicas específicas de las Islas Canarias condicionan la práctica inexistencia de especies herbáceas rizomatosas en sus dunas costeras. Por lo tanto, parece adecuada la definición de este tipo de hábitat caracterizado por la presencia de una especie vegetal restringida a la fachada sahariana del norte de África, Cabo Verde y las Canarias.

TIPO 4

Nombre: **Mantos eólicos**

Definición. Láminas de arena, estabilizadas o móviles, normalmente de escasa potencia y gran extensión, que pueden localizarse tanto en la zona inmediata a la costa como a mayor distancia hacia el interior.

Descripción. Muchos de estos depósitos se nutren de sedimentos procedentes de dunas fósiles. Sobre ellas se desarrollan varias comunidades vegetales herbáceas y/o arbustivas. Las asociaciones caracte-



Figura 8.6

Fotografía de unas fijadas con *Traganum moquinii*. Gran Canaria.

rísticas son principalmente *Polycarpeo niveae-Lotum lancerottensis*, *Euphorbio paraliae-Cyperetum capitati*, *Launaeo arborescentis-Schizogynetum sericeae* y *Traganetum moquini*.

Distribución nacional

Islas Canarias (Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria, Tenerife y La Gomera, así como los islotes de Alegranza, La Graciosa e Isla de Lobos).

Prioritario (Sí/No): Sí.

Justificación de la propuesta. Si bien los mantos eólicos no constituyen un tipo de duna en sí mismo, deben ser considerados como un tipo de hábitat específico en el caso de las Islas Canarias, donde son los ambientes eólicos más representativos. Su importancia radica en que responden a estadios evolucionados de antiguos campos de dunas en los que la actual escasez de sedimentos no es suficiente como para formar dunas propiamente dichas. Asimismo, algunas comunidades vegetales, incapaces de desarrollarse en campos de dunas, con mayor volumen de sedimentos, se encuentran asociadas a este hábitat.



Figura 8.7

Fotografía de un manto eólico en el complejo dunar de Corralejo. Norte de Fuerteventura.



Figura 8.8

Fotografía de un manto eólico en el complejo dunar de Jandía (Fuerteventura).



Figura 8.9

Fotografía de un manto eólico en el complejo dunar de Tostón (Fuerteventura).



9. NUEVOS TIPOS DE HÁBITAT DE INTERÉS COMUNITARIO DEL ANEXO I RECONOCIBLES EN ESPAÑA

TIPO 1

Código EUR 25: 2180

Nombre: **Dunas fijadas por bosques de la región Atlántica, Continental y Boreal (*Wooded dunes of the Atlantic, Continental and Boreal region*)**

Definición. Bosques naturales o seminaturales de las dunas costeras atlánticas, continentales y boreales, con una estructura boscosa bien desarrollada y una asociación característica de especies boscosas. Corresponde a las arboledas de robles con abedules (*Quercion robori-petraeae*) sobre suelos ácidos, así como bosques del *Quercetalia pubescenti-petraeae*.

Descripción. Se trata de bosques suficientemente desarrollados y estabilizados sobre dunas costeras y sobre arenales continentales. Los estadios pioneros forman bosques abiertos con *Betula* spp. y *Crataegus monogyna*, bosques mixtos con *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Ulmus minor* y *Acer pseudoplatanus* o, en depresiones intradunares húmedas, bosques pioneros con *Salix alba* que evolucionan hacia bosques mixtos húmedos o bosques de marjal. En las costas suratlánticas, corresponde fundamentalmente con bosques mixtos de *Pinus pinaster-Quercus ilex*, bosques de *Quercus suber* y *Quercus robur* o el estadio de bosque con *Quercus robur* o *Quercus pubescens*. En las costas bálticas también bosques pioneros de *Alnus* spp. o *Pinus sylvestris*. Las especies vegetales son muy variadas y dependen de las condiciones locales.

Este tipo de hábitat incluye bosques seminaturales con un típico infradesarrollo, que crecen espontáneamente a partir de antiguas repoblaciones. Estos bosques generalmente se asocian con matorrales dunares (estadios prebosque-16.25), sotobosque dunar, dunas grises (16.22) y depresiones intradunales húmedas (16.3).

Distribución nacional

Este tipo de hábitat aparece fundamentalmente a lo largo de las costas suratlánticas españolas, como sistemas dunares fijados por bosques de pinos (*Pinus pinaster*) y encinas (*Quercus ilex*), o bien bosques de quejigos (*Quercus faginea*), alcornoques (*Quercus suber*) y robles comunes (*Quercus robur*), o robles negros (*Quercus pubescens*). Corresponden a los bosques seminaturales costeros sobre sustratos dunares de los litorales de Huelva (Dunas del Abalario, Doñana, etc.) y Cádiz (Tajo de Barbate, Punta Camarinal, Punta Paloma, etc.), característicos de dunas ya fijadas, con desarrollo de suelos silíceos ligeramente ácidos.

Por otro lado, en el interior peninsular aparecen como dunas continentales sobre antiguas dunas estabilizadas en el sur de la Depresión del Duero, formando un extenso campo de pinares de repoblación sobre arenales cuarcíferos en Arévalo (Segovia), donde la topografía dunar irregular genera diversos tipos de depresiones intradunares húmedas.

Otras observaciones

Este hábitat se asocia comúnmente con el tipo de hábitat 2270 Dunas con bosques de *Pinus pinea* y/o *Pinus pinaster**, especialmente en el litoral suratlántico. Se diferencia de él fundamentalmente por la presencia simultánea del género *Quercus* (quejigares y alcornocales, básicamente) y por el alto grado de desarrollo del bosque. Por otro lado, los importantes bosques de pinos sobre dunas estabilizadas de la Depresión del Duero sólo pueden ser adscritos a este tipo de hábitat, por no tratarse de dunas marítimas ni ubicarse en la vertiente mediterránea.

