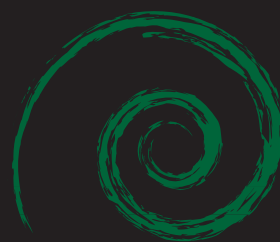


RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE SISTEMAS DUNARES.
ESTUDIO DE CASOS

Francesc Xavier Roig-Munar
(coordinador)



CÀTEDRA
D'ECOSISTEMES
LITORALS
MEDITERRANIS



Esta publicación se incluye dentro de las acciones del Proyecto Life Pletera (LIFE13 NAT/ES/001001)



Con el apoyo de:



Edición

Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis
Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter
Museu de la Mediterrània

Coordinador del volumen

Francesc Xavier Roig-Munar

Coordinador colecció “Recerca i Territori”

Xavier Quintana

Diseño Gráfico

Mostra Comunicació

Imprenta

Gràfiques Agustí
Impressió amb paper reciclat Cyclus print

ISSN: 2013-2939

Dipòsit legal: GI 945-2016

Con el apoyo de:



Sumario

1 - Presentación	9
(Xavier Quintana, Jaume Vicens)	
2 - Análisis de la incidencia de la ley en la conservación de los sistemas playa-duna. La responsabilidad de la administración en su gestión	11
(Ferran Pons, Carme Garriga)	
3 - Gestión de campos dunares en las costas de Asturias, Cantabria y País Vasco (mar Cantábrico, NO de la península Ibérica).....	35
(Germán Flor-Blanco, Germán Flor)	
4 - Conservación y restauración de los hábitats de dunas costeras en Cerdeña: la experiencia del proyecto LIFE+ PROVIDUNE	71
(Mario Durán, Maria Silvia Pinna, Martino Orrù, Alberto Sanna, Giuseppe Fenu, Donatella Cogoni, Anna Nebot, Gianluigi Bacchetta)	
5 - Transformación histórica reciente y situación actual del paisaje dunar en Cataluña.....	81
(Josep Pintó, Carla Garcia-Lozano)	
6 - Restauración ecológica de las dunas costeras: el caso de la playa del Guincho (Portugal).....	101
(Vasco Silva, Irene Correia, Alexandre Neto, José Romana y Sara Saraiva)	
7 - La Devesa de l'Albufera de Valencia: un caso de restauración dunar.....	115
(Amelia Quintana Trenor, Antonio Vizcaino Matarredona, Francisco Collado Rosique, Joan Miquel Benavent Olmos, Jesús Soriano González)	
8 - Evaluación de la incidencia de la gestión de dunas en la costa de Huelva mediante técnicas de fotografía repetida (1986 – 2001 – 2015).....	137
(Daniel Sánchez Escalera, Pablo Fraile Jurado y Carolina Peña Alonso)	
9 - Gestión versus erosión costera en la isla de Oléron: la playa de Gatseau (Francia)	157
(Carlos Arteaga Cardineau)	
10 - Estado de conservación de las dunas costeras de Canarias	177
(Carolina Peña Alonso, Antonio Hernández Cordero y Luis Hernández Calvento)	
11 - Sistemas dunares litorales y el concepto de gestión integrada de zonas costeras y marinas (GIZCM).....	201
(Pablo Balaguer Huguet, Francesc X. Roig-Munar)	

Presentación

Los sistemas dunares costeros han sido uno de los ecosistemas más alterados a causa de la creciente presión humana sobre los espacios litorales en las últimas décadas. Son hábitats muy sensibles a la frecuentación y el pisoteo excesivos que se producen durante la temporada de baño. Por sus características dinámicas de sustrato arenoso en movimiento, además, se encuentran muy afectados por las actividades humanas relacionadas con el mantenimiento de las playas, como la limpieza mecánica o la retirada de materia orgánica y de restos de troncos acumulados por el mar en el litoral, que afectan al balance de arenas y facilitan la erosión, y que también alteran el contenido de materia orgánica y nutrientes disponibles para la vegetación dunar. Como consecuencia de su degradación progresiva, los sistemas dunares se encuentran protegidos por diversas directivas. La Directiva Hábitats de la Comisión Europea incluye hasta 17 tipos de dunas marítimas como hábitats de interés comunitario cuya protección requiere la designación de zonas de especial conservación. De estos 17 tipos, 6 están clasificados como hábitats prioritarios. Las dunas litorales acogen también numerosas especies de fauna asociada muy amenazadas y que necesitan programas específicos de conservación. Todos estos hábitats y especies dependen de un funcionamiento geomorfológico y ecológico adecuado del ecosistema dunar.

Más allá de su importancia en el contexto de la conservación de la biodiversidad asociada, los sistemas dunares aportan otros servicios ecosistémicos. Un sistema dunar en buen estado de conservación participa, junto con los sistemas litorales adyacentes, en la protección tierras adentro frente al impacto de los temporales marinos. En este sentido, resulta muy elocuente comparar, a través de imágenes aéreas, el escaso efecto de un temporal de mar en una zona costera que tenga un cordón dunar bien conservado con el efecto intenso que se produce en una zona con la vegetación dunar alterada. Por otra parte, la arena de un sistema dunar alterado no solo se moviliza puntualmente durante los temporales. El transporte ocasionado por el viento es también una causa importante de erosión del sistema dunar que actúa mucho más frecuentemente que la movilización de arena por el agua durante los temporales. En un contexto de cambio global, la conservación del frente dunar y de su balance de arenas es un elemento clave para la mitigación, tierras adentro, de los posibles efectos del ascenso gradual del nivel del mar, como lo es así mismo la conservación de los diferentes espacios naturales litorales (herbazales costeros marinos, lagunas, humedales...). Se dice que todos estos sistemas costeros se organizan, en paralelo a la línea de la costa, de tal manera que la degradación de un solo sistema desestructura todos los demás, como pasa con los libros en un estante, donde unos sujetan a los otros y la extracción de un libro afecta al equilibrio del resto.

Como consecuencia de la importancia de la conservación de los ecosistemas dunares y de la fácil degradación que experimentan, desde las diferentes administraciones competentes en materia de conservación de la naturaleza se han dedicado muchos esfuerzos a escala local, regional, nacional y europea, y se encuentran numerosos ejemplos de restauración de los ecosistemas dunares a lo largo de la costa. A los ojos de un profano, el principio de la restauración dunar es simple: se trata de instalar sistemas de retención que estabilicen el sustrato movilizado por la falta de vegetación que lo fije, que detengan

la arena y que permitan el crecimiento de la vegetación que no se puede establecer sobre un sustrato arenoso desnudo, móvil y muy inestable. Al mismo tiempo, se colocan vallas para evitar el pisoteo, que suele ser la principal causa de degradación. La vegetación dunar es muy agradecida a la restauración y crece con notable rapidez (espontáneamente o ayudada con plantaciones), de manera que en pocos años se puede conseguir un sistema dunar bastante estructurado. Este principio conceptualmente tan simple es, al mismo tiempo, muy complejo, dado que el éxito de la restauración depende de múltiples factores. Las dimensiones de los receptores, su orientación y posición en función del viento predominante, de la distancia del mar y de la alineación del conjunto dunar, el balance de entradas y salidas, la localización de las zonas de acreción y erosión y el conocimiento de la evolución sedimentaria del sistema que hay que restaurar son algunos de los elementos clave que deben tomarse en consideración y conocer bien para garantizar que la restauración dunar tenga éxito y dé lugar a un frente dunar estructurado y funcional. En definitiva, hay que conocer el funcionamiento geomorfológico del sistema dunar no solo desde un punto de vista teórico (mecanismos de formación dunar...), sino también en lo que se refiere a todos aquellos elementos geomorfológicos y meteorológicos que operan a escala local (orientación, balance de arenas, vientos predominantes) o que, a pesar de tener lugar a distancia, intervienen en el balance de arenas (como la existencia de barreras, diques o escolleras que modifiquen la dinámica litoral o la aportación de arenas). Así, un método de restauración aparentemente simple se convierte en la práctica en una actuación compleja que requiere conocer los procesos geomorfológicos que operan a escala local y a escala más amplia. En consecuencia, son frecuentes los esfuerzos de restauración dunar que resultan fallidos.

En este octavo volumen de la colección «Recerca i Territori», en este caso financiado con fondos europeos en el marco del proyecto Life Pletera (LIFE13 NAT/ES/001001), se recogen una serie de casos de estudio de restauración dunar llevados a cabo en diferentes lugares de las costas atlántica y mediterránea y en diversos países (España, Portugal, Italia y Francia), con el objetivo de mostrar ejemplos de restauración dunar y de cómo se han abordado éxitos y fracasos. No es el ánimo de este volumen ofrecer una monografía sobre sistemas dunares; tampoco es un manual de métodos de restauración. Ya existen publicaciones importantes que cumplen estas funciones. En este caso, como en el de las monografías anteriores de la colección, el propósito es proporcionar elementos que sirvan de ejemplos, que permitan reflexionar sobre todo lo que debe tenerse en cuenta para llevar a cabo una restauración dunar con éxito y que ayuden a los gestores de los espacios naturales en la toma de decisiones y en el desarrollo de buenas prácticas de restauración dunar.

Xavier Quintana

Director de la Cátedra de Ecosistemas Litorales Mediterráneos

Jaume Vicens

Subdirector general de la Biodiversidad. Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalitat de Cataluña

Análisis de la incidencia de la ley en la conservación de los sistemas playa-duna. La responsabilidad de la administración en su gestión*¹

Ferran Pons¹, Carme Garriga²

¹ Departamento de Derecho Público y de Ciencias Histórico-Jurídicas de la Universitat Autònoma de Barcelona

² Licenciada en Derecho. Colegiada núm. 3.903 del Ilustre Colegio de Abogados de las Islas Baleares

1* La autoría de la redacción de los apartados 1, 2 y 4.4 corresponde a Ferran Pons, y la de los apartados 3, 4.1, 4.2, 4.3 y 5, a Carme Garriga.

1. Introducción. Las playas y las dunas son sistemas que han recibido un tratamiento desigual por parte del derecho y la administración, lo cual, en muchos casos, ha comportado su retroceso

Las playas y las dunas son, sin duda, uno de los sistemas geomorfológicos más frágiles, ya sea por su exposición al oleaje, por el crecimiento del nivel del mar o por la fuerte presión antrópica a la que están sometidas. Las dunas no solo forman parte indisociable de la misma unidad que las playas y contribuyen a su existencia al representar una reserva de sedimento, sino que también constituyen auténticos ecosistemas. De hecho, pertenecen a los tipos de hábitats naturales de interés comunitario cuya preservación requiere la designación de zonas de especial conservación, y en algunos casos incluso son de protección prioritaria, de acuerdo con el Anexo I de la Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la Conservación de los Hábitats y de la Fauna y la Flora Silvestres (Directiva Hábitats).



Figuras 1 y 2. Dunas situadas en la playa del Rec del Molí, L'Escalá (Girona), en junio del 2010. Fuente: Ferran Pons.

En una etapa no demasiado afortunada de la historia normativa del Estado, o bien las playas y las dunas estaban ausentes de la categorización expresa de los bienes de dominio público marítimo-terrestre y se incluían de forma implícita en la zona marítimo-terrestre (leyes de Puertos de 1880 y de 1928), o bien las playas se entendían restrictivamente como arenales o pedregales en superficie casi plana, con vegetación nula o escasa y característica (Ley de Costas de 1969), con lo cual las dunas quedaban excluidas tanto del concepto de playa como de la categoría de bienes de titularidad pública y, en consecuencia, se podía ejercer sobre ellas las facultades de utilización y de disposición inherentes al derecho de propiedad privada. Dadas las características del suelo de las dunas, poco adaptable para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas, el aprovechamiento se centró en la extracción de arena para la construcción y en la implantación de edificaciones residenciales turísticas y recreativas de forma desordenada, en un momento en que el marco legal urbanístico estaba poco desarrollado. Tras la aprobación del Texto Refundido de la Ley del Suelo de 1976 se dio impulso a la aprobación de los instrumentos de planeamiento de carácter general —Plan General de Ordenación Urbana y normas subsidiarias de planeamiento—, para ordenar urbanísticamente el territorio de los municipios, así como de los instrumentos de planeamiento derivado —plan parcial, estudios de detalle, planes especiales—, para concretar las operaciones de desarrollo en el suelo urbanizable.

Entre los años sesenta y ochenta del siglo xx, los terrenos privados situados en el litoral, incluidas las dunas, pasaron a ser el objetivo prioritario de los promotores, que se veían amparados en general por una concepción desarrollista plasmada en el planeamiento urbanístico correspondiente y defendidos por la política expansionista que desplegaron muchos ayuntamientos. El destino de las dunas iría así ligado al del suelo en el que estaban situadas (urbano, urbanizable o no urbanizable).

La Constitución española de 1978 sentó las bases de lo que, posteriormente, posibilitaría una protección más amplia de los sistemas playa-duna. En el artículo 45.2 contiene un mandamiento dirigido a los poderes públicos para que velen por la utilización racional de todos los recursos naturales, a fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, con el apoyo de la indispensable solidaridad colectiva. Por otra parte, declara de dominio público estatal las playas y la zona marítimo-terrestre. Por eso, resultaba clave la configuración concreta de estos bienes, que debía hacerse por ley posterior. También a partir de la Constitución y de la aprobación de los diferentes estatutos de autonomía, las comunidades autónomas costeras asumieron competencias en materia de ordenación del territorio, incluido el litoral, y de urbanismo, y sobre protección del medio ambiente y los espacios naturales protegidos.

La Ley de Costas de 1988 hizo una decidida apuesta por proteger y conservar los bienes de dominio público marítimo-terrestre (DPMT) y por recuperar su integridad y garantizar su uso público. En concreto, se establecía que todas las dunas, fueran fijas o móviles, con vegetación o sin ella y de origen natural o artificial, formaban parte de las playas y debían considerarse bienes de dominio público, a fin de que se les aplicara el régimen de protección y utilización previsto en la misma Ley. Desafortunadamente, la nueva normativa de costas, integrada por la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de Protección y Uso Sostenible del Litoral y de Modificación de la Ley de Costas de 1988, y por el nuevo Reglamento General de Costas, puede suponer un paso atrás muy importante tanto por la posibilidad de que, por medio de la modificación de los deslindes ya vigentes, se excluyan del dominio público superficies considerables de sistemas dunares, como por la incidencia que la nueva regulación del uso de las playas puede tener sobre estos.

Paralelamente, las dunas también han tenido un reconocimiento en la normativa ambiental y de protección de los espacios naturales. Ya hemos apuntado que la Directiva Hábitats de 1992 considera los sistemas dunares como hábitats naturales de interés comunitario, merecedores de la declaración de LIC/ZEC. Y a título de muestra, la Ley de Espacios Naturales y de Régimen Urbanístico de las Áreas de Especial Protección de las Islas Baleares de 1991 determinó que, en las áreas naturales de especial interés (ANEI), los sistemas dunares serían objeto del nivel de protección más alto. Los diferentes planes especiales aprobados con la finalidad de concretar la ordenación de las ANEI respectivas suplieron el déficit de la existencia de planes de ordenación del litoral, no obstante la vigencia, desde 1994, de un decreto que regulaba su aprobación. En Cataluña hay sistemas dunares que forman parte tanto de los espacios naturales de protección especial previstos en la Ley 12/1985, de 13 de junio, de Espacios Naturales, como de los incluidos en el Plan de Espacios de Interés Natural (PEIN), aparte de la incidencia que haya podido tener la aplicación del Plan Director Urbanístico del Sistema Costero (PDUSC-1) aprobado en el 2005.

Los sistemas playa-duna se configuran como un elemento esencial del patrimonio natural y de la biodiversidad. En el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017, aprobado por el Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, se afirma que otro paisaje en peligro «es el formado por las playas —uno de los entornos más valiosos desde el punto de vista socioeconómico—. Es importante

mencionar que todas las playas españolas están en proceso de regresión debido, entre otros factores, a la falta de sedimentos aportados por los ríos, a la subida del nivel del mar o a la construcción de infraestructuras costeras que distorsionan la dinámica litoral de sedimentos. Hay un proceso de erosión generalizada del que están exentas muy pocas playas». Y, en particular, se señala que las dunas litorales «son ecosistemas de alto valor ambiental sometidos a fuertes presiones. Son un bien del dominio público marítimo-terrestre sobre el que habría que priorizar su protección efectiva y restauración ecológica».²

Estos objetivos prioritarios deben conseguirse no solo por medio de la aplicación de las normas y los planes vigentes, sino también a través de la ordenación y la gestión de esos sistemas. La Gestión Integrada de las Zonas Costeras (GIZC) constituye un modelo con un gran potencial para hacer frente a las necesidades de los sistemas playa-duna, si bien no parece que las administraciones competentes, en la práctica, lo hayan aprovechado demasiado. Lo que se pretende en este trabajo es, por un lado, exponer cómo ha podido influir la normativa aplicable sobre puertos, costas y protección de los espacios naturales y de la biodiversidad en su preservación o en su retroceso. Por otro lado, se analizan diversas actuaciones públicas que pueden generar impactos relevantes en estos elementos naturales, y se apunta cómo se podrían evitar en el marco de la mencionada GIZC. Finalmente, acabamos con una reflexión sobre hasta qué punto existe o no base jurídica para exigir a las Administraciones públicas responsabilidad por los daños ocasionados en el sistema playa-duna a consecuencia de la gestión deficiente llevada a cabo.

Para finalizar este apartado introductorio, debemos hacer una aclaración. Por la condición de menorquines de ambos autores, hemos considerado oportuno hacer referencia específica a algunas disposiciones de las islas Baleares, así como a experiencias de gestión observadas en algunas playas de Menorca. En lo que se refiere a la gestión de las playas en Cataluña, nos remitimos a la bibliografía publicada en la materia (entre otros, Breton, 2004; Ariza *et al.*, 2008; Ariza, 2011).

2. Examen de la evolución del tratamiento de los sistemas dunares por la normativa estatal de puertos y costas

2.1. La aplicación de las Leyes de Puertos de 1880 y de 1928 y de la Ley de Costas de 1969: el fundamento de la condena de muchos sistemas dunares

Las Leyes de Puertos de 7 de mayo de 1880 y de 19 de enero de 1928 regularon, en exclusiva y hasta la Ley de Costas de 1969, la configuración y la utilización de los bienes de dominio público marítimo-terrestre. Y lo hicieron desde una perspectiva eminentemente portuaria, centrando la atención en el aprovechamiento del mar y de las playas, en la ejecución de las obras portuarias y en el régimen, la policía y el servicio de los puertos. En el momento de su aprobación, las presiones sobre el litoral eran limitadas, y dado que no se trataba de un espacio especialmente amenazado, las previsiones legales no tenían un enfoque proteccionista.

² BOE núm. 236, de 30 de septiembre de 2011, págs. 103148 y 103149.

La concordancia entre el articulado de estas dos normas era prácticamente absoluta. En su artículo primero, ambas declaraban de dominio nacional y de uso público tanto la zona marítimo-terrestre como el mar litoral. La zona marítimo-terrestre (ZMT) se entendía como el espacio de las costas o fronteras marítimas del territorio español que baña el mar en su flujo y reflujo, donde sean sensibles las mareas, y las olas más grandes en los temporales donde no lo sean. Las playas no eran objeto de referencia expresa, ya que se consideraban incluidas en este concepto de zona marítimo-terrestre. La titularidad demanial de la zona marítimo-terrestre y del mar litoral lo era sin perjuicio de los derechos que correspondieran a los particulares, tal como apuntaba el mencionado artículo 1 de ambas leyes. Si este inciso se interpretaba junto al artículo 7,³ se llegaba a la conclusión de que se reconocían los enclaves de propiedad particular situados en aquellos espacios. Esta propiedad privada se podía hacer valer a través de la inscripción del bien en el registro de la propiedad o incluso por medio de la declaración por sentencia judicial, tal como pasó con las sentencias del Tribunal Supremo de 2 de febrero de 1974 y de 13 de octubre de 1981, que reconocieron el dominio privado sobre la totalidad de la playa de Santa Cristina, en Oleiros (A Coruña), y sobre una finca situada en la Playa Grande, en el municipio de Miño (A Coruña), respectivamente.

El Reglamento de la Ley de Puertos de 1928, aprobado por Real Decreto Ley de 19 de enero de 1928, establecía en su artículo 1 que el Ministerio de Fomento debía practicar el deslinde y amojonamiento de la zona marítimo-terrestre en los puntos donde se presumía que existían usurpaciones, donde fuera necesario por cualquier motivo, cuando lo solicitaran los propietarios de los terrenos colindantes o cuando se otorgara una concesión de aprovechamiento de la ZMT. A partir de aquí se fueron practicando los deslindes de los tramos de costa, que se concentraron especialmente en las décadas de los cincuenta, sesenta y setenta. En la mayoría de ocasiones, las dunas quedaron excluidas de la franja de dominio público. Dado que se trataba de terrenos de titularidad privada, únicamente estaban sometidos a las servidumbres de salvamento y vigilancia (artículos 7 a 10 de las leyes de Puertos), que implicaban unas limitaciones muy laxas. Y, finalmente, ninguna de las dos leyes mencionadas recogía ni las posibles infracciones ni las sanciones para los casos de contravención de sus previsiones.

Hacia la década de los cincuenta del siglo xx, la concepción del litoral ya había cambiado de forma sustancial. La concentración progresiva de la población en la costa ya era un hecho, y el régimen político de la época había constatado su potencial de cara al desarrollo de la economía y el turismo. Que se trataba de un espacio muy atractivo queda patente por los múltiples conflictos competenciales que hacia finales de los años cincuenta y principios de los sesenta se sucedieron entre los entes públicos del momento a raíz de la voluntad de unos y otros de ejercer atribuciones diversas y liquidar impuestos sobre los bienes de DPMT: por un lado, entre diferentes ministerios de la Administración del Estado, como los del Ejército, Marina, Obras Públicas, Turismo, Comercio o Hacienda, y por otra, entre los órganos de estos ministerios y los ayuntamientos. A fin de resolver lo que se consideró una ordenación jurídica deficiente de la ZMT, en 1964 se constituyó una comisión interministerial. Los estudios llevados a cabo por esta comisión sirvieron de base para la redacción de la Ley 28/1969, de 26 de abril, de Costas.

Cuando se aprobó esta norma, el grado de deterioro de los recursos y del paisaje litoral público y privado ya era considerable, a causa de un desarrollo urbanístico incipiente y de la implantación de

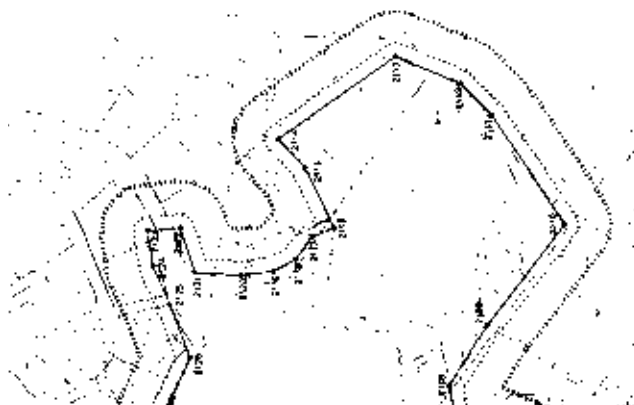
³ Según el cual, «los terrenos de propiedad particular colindantes con el mar o enclavados en la zona marítimo-terrestre están sometidos a las servidumbres de salvamento y de vigilancia litoral».

toda clase de infraestructuras, industrias y edificaciones de alojamiento, restauración y ocio. En los espacios públicos (playa, ZMT y mar), la propia Ley facilitaba la ocupación abusiva y desproporcionada para todo tipo de usos, actividades y construcciones. Y en el caso de los espacios privados (sistemas dunares), al objeto de favorecer el crecimiento económico y crear riqueza, se daba prioridad al ejercicio de las facultades de los propietarios de terrenos en detrimento de la preservación de los recursos y los ecosistemas. Por ello, después de la Ley de Costas de 1969, la situación empeoró aún más. Veámoslo.

Esta Ley se centró en regular los bienes de DPMT de una manera uniforme y armónica entre los diferentes organismos y servicios del Estado y entre estos y los ayuntamientos, y desatendió cualquier planteamiento proteccionista. Si bien incluyó expresamente las playas en aquella categoría de bienes, separadas de la zona marítimo-terrestre, su configuración era muy limitada. Así, de acuerdo con el artículo 1.1, se entendían como tales «las riberas del mar o de las rías formadas por arenales o pedregales en superficie casi plana, con vegetación nula o escasa y característica». Las dunas, por tanto, quedaban excluidas del concepto demanial de playa por la exigencia de que se tratara de superficies casi planas y con poca vegetación.

La consideración y la configuración de los bienes de DPMT también eran sin perjuicio de los derechos legalmente adquiridos sobre los enclaves particulares (artículos 1 y 4.1). La Ley de 1969 incorporó las servidumbres de salvamento y de vigilancia sobre los espacios privados lindantes con el DPMT con la misma laxitud que las leyes de Puertos. Y, como estas, tampoco estableció ni las infracciones ni las sanciones aplicables en caso de que se vulneraran sus previsiones. No fue hasta la Ley 7/1980, de 10 de marzo, sobre Protección de las Costas Españolas, aprobada después de la Constitución del 1978, cuando se tipificaron las conductas infractoras y se regularon las sanciones imponibles a sus responsables.

Lo que debe destacarse es que, en la práctica, la aplicación de las previsiones mencionadas de las leyes de Puertos y de la Ley de Costas de 1969 sobre la configuración de las playas, concretadas por medio de los deslindes, significó la exclusión del DPMT de una infinidad de sistemas dunares. Se produjo, así, la fragmentación del régimen jurídico de unos espacios que estaban dotados de elementos geomorfológicos similares (figuras 3 y 4).



Figuras 3 y 4. Dunas situadas en la playa de S'Arenal d'en Castell (Es Mercadal, Menorca), en abril de 2007, que quedaron excluidas del DPMT en el deslinde realizado en los años sesenta. En la imagen de la izquierda se puede ver el mojón que reflejó sobre el terreno el límite del DPMT así como las dunas existentes a partir de su interior. La imagen de la derecha corresponde a un plano del deslinde de la misma zona que fue aprobado por la Orden del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de 20 de febrero de 2009, y en el cual se puede comprobar tanto la antigua línea de la linde (línea discontinua) como la nueva poligonal del DPMT, que incluyó las mencionadas dunas. Fuente: Ferran Pons.

Sobre las dunas privadas, por consiguiente, se podían desplegar las facultades de utilización y aprovechamiento inherentes al derecho de propiedad, aunque de acuerdo con las determinaciones fijadas en los planes urbanísticos, si los hubiera. Estos planes o bien preveían la urbanización y la edificación de los mencionados espacios, como pasaba a menudo dado el enfoque claramente expansivo y desarrollista plasmado en los planes de los municipios litorales durante los años setenta y ochenta (figura 5), o bien venían a facilitar la implantación de viviendas unifamiliares aisladas en suelos clasificados como no urbanizables (figura 6).



Figura 5. Perspectiva general de la playa de S'Arenal d'en Castell en abril de 2007. Fuente: Ferran Pons.

Y en lo que se refiere a las playas y dunas que sí fueron consideradas de DPMT por los deslindes correspondientes, se pudieron autorizar o legalizar en ellas, a posteriori, toda clase de actividades, usos y obras, incluidas las edificaciones destinadas al depósito de embarcaciones, baños, restauración, alojamiento y vivienda; aparte, claro está, de las actividades de extracción de arena autorizadas o consentidas, y sin olvidar los efectos sobre aquellos espacios de la construcción de instalaciones marítimas y de puertos deportivos en los tramos de costa en que se considerara conveniente, posibilidad recogida expresamente en el artículo 9.1 de la Ley 55/1969, de 26 de abril, de Puertos Deportivos, con independencia de su condición de playa o ZMT y de sus valores paisajísticos y ambientales. En un principio, la construcción de estos puertos fue impulsada o autorizada por el Gobierno central, si bien estas funciones recayeron en el Gobierno autonómico respectivo a partir de los decretos de traspasos posteriores a la aprobación de la Constitución española de 1978 y de los estatutos de autonomía correspondientes.

2.2. La Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas: una apuesta decidida por recuperar la integridad del sistema playa-duna

El artículo 132.2 de la Constitución española de 1978 dispone que son bienes de dominio público estatal los que determine la ley y, en cualquier caso, la zona marítimo-terrestre, las playas, el mar territorial y los recursos naturales de la zona económica y de la plataforma continental. Nos hallamos ante un precepto que no tiene ningún referente en las constituciones de los estados de la Europa occidental y que se incorporó con la firme voluntad de poner fin a los procesos de usurpación por parte de particulares de enclaves situados en estos espacios, unos enclaves que fueron respetados, como ya hemos dicho, por las leyes de Puertos de 1880 y de 1928 y por la Ley de Costas de 1969. Por tanto, los mencionados bienes son de dominio público de titularidad estatal de acuerdo con la configuración que establece la ley, que debe ser aprobada por las



Figura 6. Chalés y otras construcciones situadas en las dunas de la playa de Migjorn, Formentera, en marzo de 2006. Hasta el deslinde aprobado en 1997, estas dunas no formaron parte del DPMT. Fuente: Ferran Pons.

Cortes Generales y que, al mismo tiempo, puede determinar otros bienes demaniales estatales.

La norma legal a la cual se remite el señalado precepto es la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, desarrollada por el Reglamento de Costas aprobado por Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre. La Ley 22/1988 fue modificada por la Ley 2/2013, como hemos apuntado más arriba. Y por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, se aprobó el Reglamento General de Costas,

que sustituye íntegramente al de 1989. En las páginas siguientes veremos cómo se plasmaron las playas y las dunas en la versión originaria de la Ley de 1988 y en el Reglamento de 1989, mientras que en el apartado siguiente trataremos de la incidencia que sobre aquellas tienen tanto la Ley 2/2013 como el nuevo Reglamento General de Costas (véase, así mismo, Pons Cànovas, 2015).

Al desarrollar el artículo 132.2 de la Constitución, la Ley 22/1988 configuró el DPMT de una forma más amplia que su antecesora. Así, en lo que se refiere a las playas, que se incluyen dentro de la ribera del mar y de las rías (artículo 3.1), de ser consideradas zonas de superficie casi plana con vegetación nula o escasa y característica por la Ley de 1969 pasan a definirse como zonas de depósito de materiales sueltos (como arenas, gravas y cantos rodados), incluidos los escarpes, las bermas⁴ y las dunas, *tengan o no vegetación, formadas por la acción del mar o del viento marino u otras causas naturales o artificiales*⁵ (artículo 3.1.b).

La demanialización expresa de todas las dunas, fijas o móviles, con o sin vegetación, formadas por causas naturales o artificiales, alejadas del mar o próximas a este, era obligada, y suponía un intento de reparar errores históricos que habían tenido consecuencias catastróficas desde el punto de vista ambiental, paisajístico y territorial. A través del artículo 4.d del Reglamento de Costas se matizó que en la delimitación de las playas se incluirían preferentemente las dunas móviles o en evolución por causas naturales —«Se considerarán incluidas en la delimitación de la playa las cadenas de dunas que estén en desarrollo, desplazamiento o evolución debida a la acción del mar o del viento marino»—, mientras que las dunas fijadas por la vegetación o estabilización se incluirían «hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa».

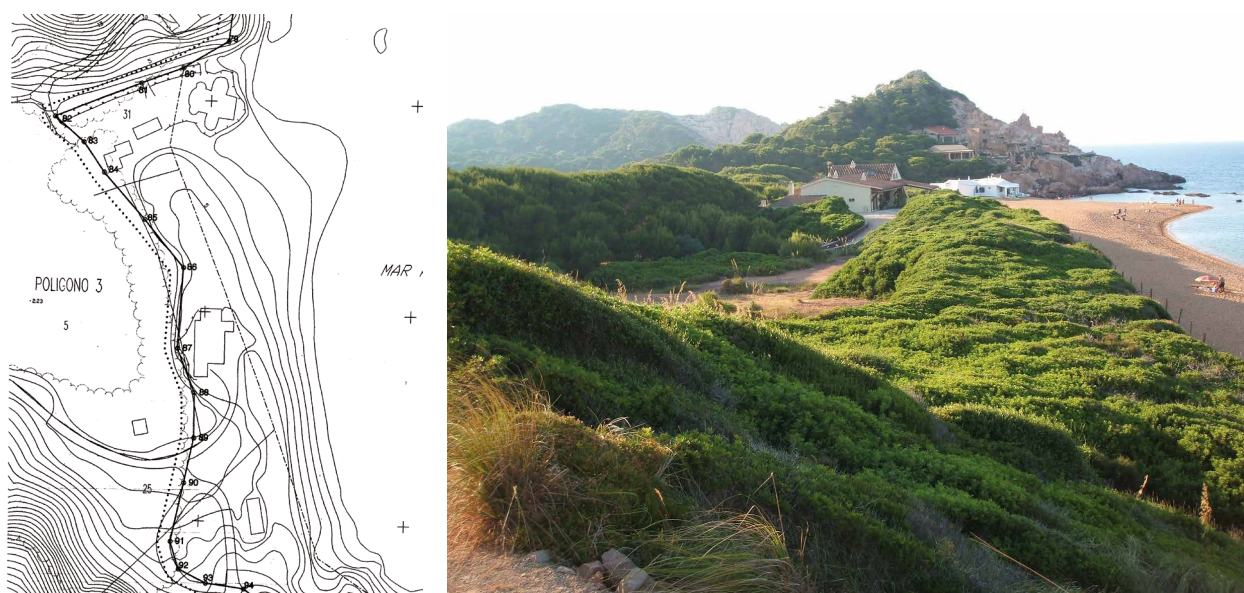
La acotación de las dunas que hace el Reglamento de 1989 ha sido tomada con reservas por la jurisprudencia más reciente, que ha interpretado de forma amplia las dunas que deben incluirse en el DPMT, ya sean activas o estables. Así se ha reflejado en las sentencias del Tribunal Supremo de 13 de julio de 2001 (RJ 2001/7660), de 17 de diciembre de 2009 (RJ 2010/2905) o de 14 de diciembre de 2011 (RJ 2012/2738), así como en las sentencias de la Audiencia Nacional de 20 de abril de 2011 (JUR 2011/154772) y de 6 de mayo de 2014 (JUR 2014/144415). En la sentencia del Tribunal Supremo de 17 de diciembre de 2009 se indicaba que «la solución se encuentra en el propio texto de los artículos

⁴ El Reglamento de Costas de 1989 definía la berma y el escarpe en estos términos (artículo 4.c): «Se entenderá por berma la parte casi horizontal de la playa, interior al escarpe o talud de fuerte pendiente causado por el oleaje».

⁵ Este inciso ha sido suprimido por la Ley 2/2013.

3.1.b) de la Ley de Costas y de su Reglamento, que incluyen en la ribera del mar las dunas, tengan o no vegetación, formadas por la acción del mar o del viento marino y otras causas naturales o artificiales, *sin que el alcance de ambos preceptos pueda restringirse por una interpretación como la que hace el Tribunal de instancia de lo dispuesto en el artículo 4.d) del referido Reglamento, de manera que, estén o no en desplazamiento y evolución, las dunas litorales formadas por la acción del mar o del viento marino hay que incluirlas dentro de la ribera del mar y, por tanto, son bienes de dominio público marítimo terrestre*,⁶ contrariamente a lo que opina la Sala sentenciadora» (fundamento de derecho séptimo).

La concreción efectiva sobre la costa de la configuración del DPMT derivada de la Ley de 1988 y de su Reglamento se ha hecho por medio de los deslindes que se fueron aprobando desde principios de los años noventa del siglo pasado, y que sustituyeron a los que se habían llevado a cabo de acuerdo con la legislación anterior o, a veces, suplieron su inexistencia. En una infinidad de ocasiones, su aprobación ha implicado la incorporación al DPMT de importantes superficies de titularidad privada, en forma de terrenos bañados por las olas de los mayores temporales conocidos, de humedales, albuferas, marjales y terrenos bajos inundados o inundables y, especialmente, de dunas activas o inactivas (figuras 7 y 8).



Figuras 7 y 8. Plano de la Orden Ministerial de 2009 por la que se aprobó el deslinde de Es Mercadal correspondiente a la playa de Cala Pregonda; el plano refleja la inclusión en el DPMT de las dunas estabilizadas que formaban parte de los terrenos de la finca de Son Ametller. A la derecha se puede contemplar una imagen, tomada en julio de 2010, de la perspectiva de las dunas incluidas en la delimitación del DPMT. Fuente: Ferran Pons.

2.3. La Ley 2/2013, de 29 de mayo, de Protección y Uso Sostenible del Litoral y de Modificación de la Ley de Costas y el nuevo Reglamento General de Costas. Los peligros de un retroceso en la protección del sistema. El caso evidente de Formentera

No obstante la connotación proteccionista que se quiso otorgar a la interpretación amplia del DPMT hecha por la Ley de 1988 y concretada por los deslindes, desde el punto de vista de la percepción social se produjo

⁶ Las cursivas son del autor.

un efecto negativo imprevisto porque una pluralidad de ciudadanos, tanto nacionales como extranjeros, perdió, en virtud de aquellos deslindes, la titularidad de sus terrenos y construcciones enclavados en sistemas dunares, en aplicación del mecanismo implacable de transformación de los bienes privados en públicos mediante la atribución de una concesión compensatoria de sesenta años previsto en la disposición transitoria de la Ley. Un porcentaje muy alto de las demandas judiciales planteadas contra las resoluciones aprobatorias de los deslindes ha convalidado las delimitaciones efectuadas, lo cual demuestra que estas no se habían hecho de manera arbitraria. No obstante, respondiendo a las presiones recibidas desde muchos ámbitos, la nueva normativa de costas posibilita rebajar la amplitud del DPMT. En un futuro inmediato, así pues, grandes extensiones de sistemas dunares podrían quedar fuera del DPMT y, por tanto, de la protección inherente a la condición de bienes demaniales, si bien después de la Ley 2/2013, esta protección se ha rebajado.

En efecto, según la letra b del artículo 3.1 de la Ley de Costas, la ribera del mar y de las rías comprende las playas, que se consideran zonas de depósito de materiales libres, como arenas, gravas y cantos rodados, incluidos los escarpes, las bermas y las dunas. Las dunas, con independencia de su configuración, se incluyen en ella «hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa», y desaparece la referencia al hecho de que tengan o no vegetación y se hayan formado por la acción del mar o del viento marino o por otras causas naturales o artificiales. En cualquier caso, es el Reglamento General de Costas el que concreta el auténtico alcance del cambio normativo, en el sentido de que permite excluir del DPMT las dunas estabilizadas, salvo los casos excepcionales en que la mejor evidencia científica disponible demuestre que son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa, y, al mismo tiempo, incorpora algunos criterios que pretenden objetivar la exclusión de partes de las activas o en desplazamiento, a fin de fijar el límite que hay que respetar para garantizar las mencionadas estabilidad y defensa (Pons Cànovas, 2015).

De acuerdo con estos criterios, cuanto más grande sea la parte aérea de los árboles y los arbustos existentes sobre la duna, más posibilidades hay de que esta se considere estabilizada, a pesar de que se pueda producir actividad. Por eso, deberían ser las características propias de cada zona y de cada sistema dunar lo que se tomara en consideración para delimitar qué parte de la duna estable es necesaria o no para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa, teniendo en cuenta que el litoral es un sistema dinámico.⁷ Además, dejando a un lado el hecho de que algunas dunas fijas se incluyen dentro de los tipos de hábitats naturales de interés comunitario, cuya preservación requiere la designación de zonas de especial conservación, con las perspectivas actuales y futuras de los efectos del cambio climático sobre el litoral se hace imprescindible que la garantía de la estabilidad de la playa y la defensa de la costa se conciba como una reserva estratégica ante la más que previsible regresión del sistema (así se dictaminó en la sentencia de la Audiencia Nacional de 6 de mayo de 2014). Y se da la paradoja de que la cláusula que permite hacer una interpretación más amplia de las garantías de las dunas estabilizadas, introducida a última hora en el Reglamento por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a instancias del Consejo de

⁷ Es interesante hacer referencia a la apreciación que encontramos en la sentencia del Tribunal Supremo de 16 de diciembre de 2009 (RJ 2010/2872), que alude a la virtualidad de las dunas fijadas por vegetación arbórea, las cuales, de acuerdo con la distinción efectuada por el Reglamento General de Costas, serían dunas estabilizadas: «[...] una cosa es que no sea necesario que el pinar —y las dunas que en el mismo se encuentran, sujetas por los pinos, la vegetación y los rellenos antrópicos superpuestos— actúe como defensa de la playa, por ser suficiente con la autodefensa —llamémosle así— que se efectúa por la actual playa, en el sentido vulgar de esta expresión, y otra cosa distinta es que no sean tales dunas —que se califican de grises, negras o fijas— las que, como cinturón de contención cohesionado por los pinos, la vegetación y los rellenos, mantengan la estabilidad de las que se denominan dunas embrionarias y blancas, y, en consecuencia, de la playa, propiamente dicha y, en síntesis, de la costa» (fundamento de derecho quinto).

Estado, se reserva para los casos excepcionales, cuando resulta que ha sido «la mejor evidencia científica disponible» la que exige la preservación de todas las dunas en vista de los efectos del cambio climático.

En lo que se refiere a las playas y las dunas que continúen formando parte del DPMT, hay que tener presente que la nueva normativa de costas permite que en las playas situadas en tramos urbanos se potencien tanto los usos y las actividades como las magnitudes de las edificaciones a su servicio, lo cual puede repercutir negativamente en su integridad.

Merece, finalmente, una consideración especial la configuración *ad hoc* del DPMT de Formentera establecida por la Ley 2/2013 como reacción a los efectos significativos del deslinde de la isla aprobado en 1997. De acuerdo con su disposición adicional cuarta, apartado 1, se entiende por playas «las riberas del mar o de las rías formadas por arenales o pedregales en superficie casi plana, con vegetación nula o escasa y característica». Este concepto, que coincide exactamente con el del artículo 1.1 de la Ley de Costas de 1969, perseguía reducir la franja de terrenos demaniales consistentes en playa y dunas, especialmente en la playa de Migjorn, de manera que sus antiguos propietarios recuperasen la titularidad de los terrenos así como la de las edificaciones existentes sobre estos. La sentencia del Tribunal Constitucional de 5 de noviembre de 2015, dictada justo cuando se estaba tramitando el nuevo deslinde,⁸ declaró inconstitucional y nulos los apartados 1, 2 y 4 de aquella disposición por imperativo del artículo 132.2 de la Constitución, considerando que los elementos abstractos definitorios de la zona marítimo-terrestre o de las playas deben ser forzosamente los mismos en el conjunto del territorio, peninsular o insular (fundamento de derecho duodécimo).

3. La normativa sobre protección de los espacios naturales y de la biodiversidad

3.1. Comunitaria

Aparte de la existencia de otras políticas ambientales internacionales, consideramos que debemos tratar aquí la política ambiental comunitaria, dado que inspira la normativa medioambiental española. Los tratados constitutivos de la Comunidad Europea suscritos entre los años 1951 y 1957 no hacían referencia directa a la protección del medio ambiente. Es a partir del Acta Única Europea, firmada en 1986, y de las sucesivas modificaciones de los tratados cuando se establecen los objetivos, los principios, las competencias y las condiciones de actuación de las instituciones comunitarias sobre medio ambiente.

No obstante, la protección de los espacios naturales se origina con la aprobación, en 1979, de la Directiva de Aves (79/409/CEE), sustituida en el 2009 por la Directiva vigente en la actualidad (2009/147/CE), que impone a los estados miembros la obligación de preservar, mantener o restablecer una diversidad y una superficie suficiente de hábitats para las especies de aves que se prevén en la misma. La protección comunitaria de la naturaleza se completa con la Directiva Hábitats (92/43/CEE), que tiene como objetivo garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los

⁸ La Demarcación de Costas de las Islas Baleares dictó, el 28 de julio del 2015, providencia de incoación del expediente de deslinde del DPMT de Formentera, y se abrió un período de información pública durante un mes (BOIB núm. 118, de 6 de agosto).

hábitats y de la flora silvestres y en la cual se crea la figura de la red ecológica Natura 2000, red que incluye, además, las zonas de protección especial designadas según las disposiciones de la Directiva de Aves. En el anexo 1, las dunas aparecen como hábitat natural de interés comunitario.

En lo que se refiere a este hábitat, que es el que nos interesa, y en el caso concreto de las islas Baleares, no se han cumplido ni las obligaciones ni los plazos fijados por la Directiva, pues no fue hasta el pasado 27 de marzo de 2015 cuando el Gobierno de las Islas Baleares aprobó, mediante decreto, los primeros planes de gestión para zonas especiales de conservación (ZEC), tres de los cuales se refieren a zonas que contienen hábitats dunares, concretamente Mondragó, Es Trenc-Salobrar de Campos y Albuferas de Mallorca. Según fuentes del Gobierno balear, durante los próximos meses se redactarán los planes de gestión restantes, de manera que las islas tendrán, en total, veinticinco planes de gestión.

Este incumplimiento de los plazos y las obligaciones fijados por la Directiva dio lugar a la sentencia del Tribunal de Justicia de la Unión Europea de fecha 22 de septiembre de 2011, que condenaba a España por la inexistencia de un régimen de conservación que garantizara la protección jurídica de la región biogeográfica macaronésica, a la cual pertenecen las islas Canarias.

3.2. Estatal

Cuando se promulgó la Constitución española se encontraba vigente la Ley 15/1975, de 2 de mayo, de Espacios Naturales Protegidos, que establecía la protección de determinadas áreas —por tanto, en ella no había una concepción amplia de salvaguarda de la naturaleza— y fijaba una clasificación de regímenes de protección: por un lado, reservas integrales de interés científico; por otro, parques nacionales y parajes naturales de interés nacional que eran declarados mediante ley; y, finalmente, parques naturales que lo eran mediante decreto. Hubo críticas en el sentido de que esta declaración por ley hacía imposible un proceso declarativo en el cual pudieran intervenir todos los interesados (Pérez de Andrés, 1998).

La norma legal en cuestión fue sustituida por la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y la Fauna Silvestres, que ofrecía una protección de los recursos naturales más allá de los espacios naturales protegidos. Esta ley supuso la introducción de los planes de ordenación de los recursos naturales, lo cual abrió las puertas a la participación de los ciudadanos en los asuntos públicos cuando las decisiones adoptadas afectaran a sus intereses. Los mencionados planes representan un límite a los instrumentos de ordenación territorial y reflejan el reparto competencial previsto en la Constitución española, dado que «la declaración y gestión de los parques, reservas naturales, monumentos naturales, paisajes protegidos y zonas de la Red Ecológica Europea Natura 2000 corresponderá a las comunidades autónomas en cuyo ámbito territorial se encuentren ubicados» (artículo 21.1); la única excepción son los parques nacionales, que se declaran mediante ley. Esta norma legal refundió los regímenes de protección creados por la Ley 15/1975, de 2 de mayo, en parques, reservas naturales, monumentos naturales y paisajes protegidos.

Actualmente, la Ley 4/1989 ha quedado sustituida por la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. De esta, entre otros aspectos, cabe destacar la obligación de todos los poderes públicos de velar por la conservación y la utilización racional del patrimonio natural

(artículo 5); la creación del Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad para definir objetivos y acciones para la conservación, el uso sostenible y la restauración del patrimonio y los recursos naturales; el mantenimiento de los planes de ordenación de los recursos naturales y el tratamiento de la Red Ecológica Europea Natura 2000, introduciendo ya la Directiva Hábitats. Se mantienen las mismas figuras de protección, pero se incorporan las áreas marinas protegidas.

3.3. Autonómica

Las islas Baleares llegaron a la autonomía con unos planes urbanísticos que tenían por objeto legitimar la urbanización; en el tardofranquismo y antes de la Transición se planificó para urbanizar (Rullán Salamanca, 2010).

Durante la década de los ochenta, los planes municipales de los ayuntamientos siguieron el mismo patrón de crecimiento que los antecedentes franquistas. La primera ley que aprobó el Parlamento balear fue la 1/1984, de 14 de marzo, de Ordenación y Protección de Áreas Naturales de Interés Especial (ANEI), que permitió proteger unos espacios que estaban amenazados por proyectos de urbanización (Rullán Salamanca, 2010). La norma legal en cuestión se aplicó en casos concretos, y fue en 1991 cuando se aprobó, con carácter general, la Ley 1/1991, de 30 de enero, de Espacios Naturales y de Régimen Urbanístico de las Áreas de Especial Protección de las Islas Baleares, con el objetivo de fijar el régimen urbanístico de las áreas que habían de ser objeto de protección especial. Esta ley define las áreas de especial protección de interés y determina que sean planes especiales los que ordenen estos espacios (artículo 9). Así mismo, otorga a los sistemas dunares de estas áreas el más alto nivel de protección (artículo 11).

Con todo, y en el caso de Menorca, en algunos lugares los coches aparcaban sobre los sistemas dunares situados en ANEI, aprovechando viales abiertos (figuras 9 y 10). No fue hasta el año 2003 cuando Menorca se dotó de cuatro planes especiales que afectaban a playas y sistemas dunares.



Figuras 9 y 10. Vehículos aparcados en el sistema dunar de la playa de Cavalleria, Es Mercadal, en 1994. Fuente: Consell Insular de Menorca. Vehículos aparcados en el sistema dunar de la playa de Binimel·là, Es Mercadal, en 2003. Fuente: Josep Lluís Florit.

La Ley 5/2005, de 26 de mayo, para la Conservación de los Espacios de Relevancia Ambiental (LECO) supone un recordatorio de la Ley estatal 4/1989 y el reconocimiento legislativo en las Baleares de la Red Natura 2000 (Carreras y Truyol, 2009). De acuerdo con esta ley, los espacios naturales protegidos en las islas Baleares se clasifican en parques naturales, parajes naturales, reservas naturales (integrales y especiales), monumentos naturales, paisajes protegidos y lugares de interés científico y microrreservas.

Como conclusión, este corpus normativo trata el sistema playa-duna de forma genérica y nos remite a planes especiales y de gestión para su regulación; unos planes que contienen como máximo definiciones de este hábitat, pero en los cuales se echan en falta criterios técnicos que permitan llevar a cabo una gestión y conservación ajustadas a sus características morfológicas.

4. Análisis de la gestión de los sistemas dunares

Desde la década de los setenta y hasta hoy, la gestión de las playas y las calas ha estado marcada por el cumplimiento de las normas básicas de higiene y por la instalación de servicios destinados al ocio de los usuarios. Estos hábitats se entienden como anexos a los espacios urbanos y turísticos, sin tener en cuenta las características ambientales (Roig Munar, 2010).

En las islas Baleares, la presión turística y recreativa sobre el litoral, concentrada en los períodos estivales, genera importantes impactos ambientales. Estudios de los sistemas dunares de Menorca (Roig Munar, 2010) hacen referencia a la existencia en estos de estados de degradación atribuibles en algunos casos a un uso y una gestión incorrectos. Si bien la ley protege los espacios naturales desde el punto de vista urbanístico, se necesita una gestión adecuada, basada en el conocimiento del medio.

Queremos analizar brevemente algunas actuaciones llevadas a cabo por la Administración que generan impactos en este medio natural.

4.1 Sistema de limpieza de playas

El capítulo III del título VI de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, concretamente en el artículo 115, contiene el precepto que permite a los ayuntamientos llevar a cabo la limpieza de las playas al establecer que las competencias municipales comprenden, entre otros aspectos, el mantenimiento de las playas en las debidas condiciones de limpieza, higiene y salubridad. Este artículo no se ha visto afectado por la reforma de la Ley de Costas aprobada en el 2013.

Los órganos públicos se centran en dar cumplimiento a la higiene de las playas más urbanas y se olvidan de las consecuencias que para estas puede tener la utilización de un sistema de limpieza determinado. Desde hace años, en los espacios litorales de uso turístico es práctica habitual utilizar equipos de limpieza mecanizada sin tener en cuenta sus características medioambientales y geomorfológicas.

Según Roig Munar (2010), la retirada sistemática de *Posidonia oceanica* y la limpieza mecánica de las playas han causado, a lo largo de las últimas décadas, procesos de degradación de los sistemas dunares. Entre otros motivos por falta de información, la presencia de bermas de *Posidonia oceanica* se interpreta como un signo de suciedad, y esto hace que los gestores turísticos se dirijan a la Administración competente en materia de limpieza del litoral para reclamar una playa «limpia» cuando esta, al mismo tiempo, se degrada.

Cabe decir que, en el caso de Menorca, a partir del año 2000 se puso en marcha un plan de gestión integral de los sistemas de playa-duna, con la aplicación de unos métodos de gestión basados en criterios

morfológicos, sociales y paisajísticos que permitieron detener los procesos degenerativos de estos sistemas (Roig Munar, 2010). El Servicio de Limpieza de Playas de Menorca es un servicio mancomunado constituido por el Consell Insular de Menorca y por siete ayuntamientos de la isla.



Figuras 11 y 12. Ejemplos de limpieza mecánica y retirada de *Posidonia oceanica*. Fuente: Francesc Xavier Roig Munar.

4.2. Presencia de aparcamientos próximos a la playa

Los aparcamientos próximos a las playas son un indicador de la presión que pueden sufrir los sistemas playa-duna a causa de la presencia de usuarios (Roig Munar, 2010). Los altos índices de frecuentación de las playas provocan alteraciones en el equilibrio morfológico del sistema, así como en la flora y la fauna presentes en el mismo, y ponen en peligro su funcionamiento natural y su conservación (Roig Munar, 2010). En el caso de las áreas naturales de especial interés (ANEI), los planes especiales de protección correspondientes regulan las características técnicas de los aparcamientos ubicados en ellas, calculando el número de coches autorizados en función de la superficie útil de la playa. Ahora bien, en algunos casos se producen vulneraciones de la normativa, como demuestra el ejemplo que comentamos seguidamente.

El 16 de junio de 2003, la Comisión Insular de Urbanismo del Consell Insular de Menorca aprobó el Plan Especial de Protección de la ANEI Me-3, en el cual se prevé, para la playa de Cavalleria (Es Mercadal), un aparcamiento de 4000 m² de superficie para un número máximo de 200 vehículos. Este aparcamiento debía descomponerse en dos módulos de 2000 m² cada uno, con una cabida de 100 coches por módulo (figura 13). A pesar de ello, actualmente podemos observar que el aparcamiento se ha ampliado sin que se haya producido ninguna modificación de la normativa (figuras 14 y 15).

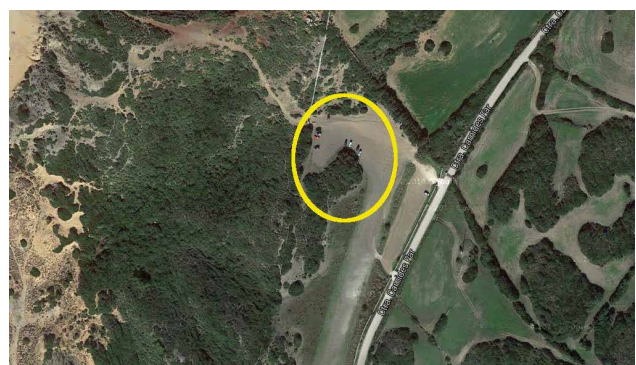
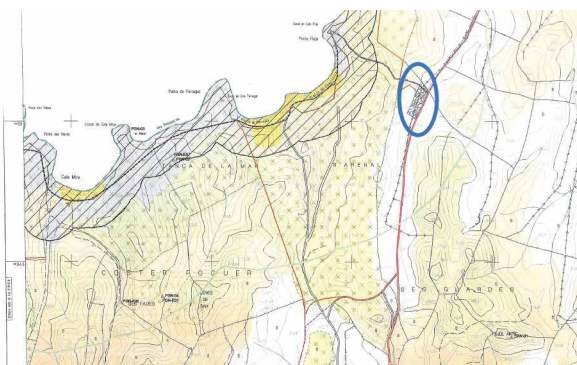


Figura 13. Plan de ordenación del aparcamiento de Cavalleria (Plan Especial ANEI Me-3). Fuente: Consell Insular de Menorca.
Figura 14. Imagen de este aparcamiento consultada en Google Maps en el verano de 2015. El círculo amarillo nos muestra el fragmento ampliado del aparcamiento. Fuente: Google Maps.



Figura 15. Aparcamiento de Cavalleria en julio de 2015, en la parte correspondiente al círculo amarillo señalado en la figura 14. Fuente: Carme Garriga.

4.3. Estacionamiento de vehículos sobre sistemas dunares

En algunas zonas de Menorca también se ha constatado la presencia de vehículos sobre sistemas dunares. Este hecho ya se ponía de manifiesto por Roig Munar y Juaneda Franco (2009), con motivo de los 15 años de Menorca como reserva de la biosfera, donde expusieron, entre otras líneas de acción relativas a la gestión litoral, la eliminación de estacionamientos sobre playas y sistemas dunares que aún se daban.

Una de estas zonas es la playa de Es Portitxol, situada dentro del Parque Natural de S'Albufera des Grau. El artículo 2 del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Parque, aprobado el 16 de mayo de 2003, fija como uno de sus objetivos proteger los recursos naturales, y las comunidades dunares son una de las tipologías ambientales tipificadas en el Parque.

El artículo 30 de este plan de ordenación trata específicamente los sistemas dunares y establece, entre otras cuestiones, lo siguiente: «Los sistemas dunares deben ser objeto de unas medidas de conservación específicas, y tanto en estos como en las playas se prohíbe el uso de vehículos a motor, de bicicletas y de caballería, salvo motivos justificados de conservación y seguridad». No obstante esta disposición, encontramos coches aparcados sobre el sistema dunar que incumplen la normativa existente (figura 16).



Figura 16. Vehículos aparcados en el sistema dunar de la playa de Es Portitxol, en el verano de 2015. Fuente: Carme Garriga.

Otra zona que presenta la misma problemática es la cala Viola de Ponent, situada cerca de la playa de Cavalleria, dentro de la ANEI Me-3, al norte de Menorca. Para esta zona, el Plan especial de protección

prevé un aparcamiento de 10 vehículos en una superficie de 300 m², pero los coches estacionan sobre la arena (figura 17).



Figura 17. Vehículos aparcados en la cala Viola de Ponent, en el verano de 2015. Fuente: Carme Garriga.

4.4. Los sistemas dunares y la gestión integrada de las zonas costeras

La gestión de los sistemas playa-duna debería hacerse, en cualquier caso, en el marco de la gestión integrada de las zonas costeras (GIZC), sin olvidar la posibilidad de implementar sistemas de gestión ambiental (EMAS, ISO 14401), tal como se ha hecho en diversas playas de Cataluña (Ariza *et al.*, 2008; Ariza, 2011). A partir de la Recomendación 2002/413/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2002, sobre la Aplicación de la Gestión Integrada de las Zonas Costeras en Europa, es especialmente destacable el Protocolo relativo a la Gestión Integrada de las Zonas Costeras del Mediterráneo,⁹ aprobado por Decisión del Consejo de la Unión Europea de 13 de septiembre de 2010 (DOUE L 279, de 23 de octubre de 2010), que entró en vigor el 24 de marzo de 2011 y que es de cumplimiento obligado para el Estado español por haber sido uno de los países que lo han ratificado.

La relevancia de este protocolo se manifiesta en la configuración, los objetivos y los principios de la gestión integrada de las zonas costeras. Así, por esta se entiende «un proceso dinámico de gestión y utilización sostenibles de las zonas costeras, teniendo en cuenta simultáneamente la fragilidad de los ecosistemas y paisajes costeros, la diversidad de las actividades y de los usos, sus interacciones, la orientación marítima de determinados usos y determinadas actividades, así como sus repercusiones a la vez sobre la parte marina y la parte terrestre» (artículo 2). Entre sus objetivos figuran los siguientes: facilitar, por medio de una planificación racional de las actividades, el desarrollo sostenible; garantizar la preservación de la integridad de los ecosistemas así como de los paisajes costeros y de la geomorfología costera; y garantizar la coherencia entre las iniciativas públicas y privadas y entre todas las decisiones de las autoridades públicas a escala nacional, regional y local que afecten a la utilización de la zona costera (artículo 5). Y entre los principios generales que deben guiar la gestión de las partes contratantes destacan los siguientes: garantizar una coordinación institucional intersectorial organizada de los diferentes servicios administrativos y de las autoridades regionales y locales competentes en las zonas costeras; proceder a evaluaciones preliminares de los riesgos relacionados con las diversas actividades

⁹ Se trata estrictamente del Protocolo al Convenio para la Protección del Medio Marino y de la Región Costera del Mediterráneo, o Convenio de Barcelona, firmado en Barcelona el 16 de febrero de 1976 y que entró en vigor el 9 de julio de 2004.

humanas e infraestructuras a fin de evitar y reducir sus impactos negativos; y evitar que se produzcan daños en el medio ambiente costero y, si se producen, llevar a cabo una restauración adecuada (artículo 6). Incluso se debe garantizar especialmente la protección de los paisajes costeros y de las islas, de acuerdo con los artículos 11 y 12.

En consecuencia, la aplicación de este modelo de gestión podría evitar que se originasen daños y otros impactos negativos del estilo de los expuestos en los puntos anteriores. Tenemos estas pautas, que son de cumplimiento obligado y que permitirían superar las malas perspectivas que se deducen del nuevo marco normativo sobre las costas. Se trata, en fin, de apostar seriamente por una gestión dinámica, activa, coherente y participativa, una gestión en la que se afronten las necesidades incluso antes de que surjan los conflictos, que tenga en cuenta la integridad y la fragilidad de los sistemas playa-duna, que se base en una planificación racional de las actividades y los servicios públicos y privados que pudieran desarrollarse en ellos así como de sus interacciones, que integre en el tratamiento los espacios marinos, y que se lleve a cabo de forma coordinada entre las diferentes administraciones con competencias sobre estos ámbitos.

5. Responsabilidad de la administración en la protección del sistema playa-duna

Las administraciones públicas, en el ámbito de sus competencias respectivas, deben velar por la protección del medio ambiente, vigilando y sancionando las actuaciones y las actividades de los particulares que causen daños a los recursos naturales, como las playas y las dunas. Pero también hay que tener presente que las propias administraciones, en sus intervenciones u omisiones y en la prestación de servicios, pueden ocasionar daños a estos recursos. ¿Se les puede exigir, así pues, en estos casos, algún tipo de responsabilidad?

El régimen general de la responsabilidad patrimonial de la Administración se regula en los artículos 139 a 146 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común. Su base se halla en el artículo 106.2 de la Constitución española, donde se establece que los particulares tienen derecho a ser indemnizados por cualquier lesión que sufran en cualquiera de sus bienes y derechos, siempre que la lesión sea consecuencia del funcionamiento de los servicios públicos. De acuerdo con estos preceptos y con la doctrina jurisprudencial, deben concurrir varios requisitos para determinar una responsabilidad patrimonial de la Administración: existencia de lesión o daño a los bienes o derechos del particular afectado; un daño efectivo, evaluable económicamente e individualizado en relación con una persona o un grupo de personas; imputación a la Administración de los actos que han producido la lesión o el daño; relación de causalidad entre el hecho imputable a la Administración y la lesión producida; y ejercicio de la acción de responsabilidad en el plazo de un año contado a partir del hecho que motiva la indemnización.

Según Conde Antequera (2004), teniendo en cuenta estos requisitos, que no se suelen dar en casos de daños ambientales, debemos distinguir entre la responsabilidad de la Administración por los daños causados a los particulares, en que la reparación se concreta en una indemnización, y una responsabilidad

de la Administración por los daños causados al medio ambiente como bien jurídico autónomo, supuesto en el cual la reparación se basaría en reponer el medio ambiente en el estado en que se encontraba antes del daño ocasionado por el funcionamiento normal o anormal de la Administración. En este segundo caso, la vía para exigir responsabilidad sería la acción popular, legitimación activa que suele ser ejercida por asociaciones interesadas en la protección del medio ambiente. Sigue diciendo este autor que no se puede negar la existencia de una responsabilidad por daños ambientales, responsabilidad que se fundamenta en el artículo 45, apartados 2 y 3, de la Constitución española:

«Los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva.

»Para quienes violen lo dispuesto en el apartado anterior, en los términos que la ley fije se establecerán sanciones penales o, en su caso, administrativas así como la obligación de reparar el daño causado».

En lo que se refiere a la prescripción de la acción, considera Conde Antequera (2004) que el plazo de un año desde que se produjo el hecho no es aplicable, dado que si la lesión se va prolongando en el tiempo, el plazo no podrá comenzar a contarse hasta que no cese el hecho o los hechos causantes de la responsabilidad.

Otro autor como Jordano Fraga (2006) considera que negar la posibilidad de que la Administración pueda ser responsable de daños ambientales autónomos sería como poner en sus manos «una patente de corso» para la agresión a un bien jurídico colectivo. El autor estima que aunque los daños hubieran sido causados por particulares, puede existir responsabilidad de la Administración si la protección ambiental se considera como una función administrativa. El Tribunal Supremo, en su sentencia de fecha 28 de abril de 2010, referente a la existencia de un vertedero que había recibido denuncias previas por parte del Seprona, confirma la responsabilidad de la Administración por un funcionamiento anormal en la gestión del vertedero, aunque se ignore la persona causante del fuego que ha provocado daños en la finca adyacente, porque la Administración incumplió sus facultades de inspección, no aplicó medidas correctoras, etc. Este caso, sin embargo, se concentra en los daños ocasionados a particulares concretos, no a la colectividad.

¿Qué entendemos por funcionamiento normal o anormal de la Administración? La Administración puede causar un daño con su actuación de prestador de servicios (culpa *in committendo*), ya sea por acciones de sus funcionarios, ya sea a través de empresas intermediarias, pero también puede ocasionarlo por el hecho de haber ignorado su deber de vigilancia o de control de actuaciones (culpa *in vigilando*) o por no haber prestado el servicio de protección del medio ambiente que le corresponde (culpa *in omittendo*), es decir, por haber dejado de actuar. Ahora bien, según Lozano Cutanda (2009), este sistema de responsabilidad extracontractual se muestra ineficaz a la hora de reparar los daños a los recursos naturales que denominamos *públicos* o *autónomos*. Pensemos, por ejemplo, en la destrucción de un hábitat situado en un parque natural de titularidad pública: aquí no se lesiona un interés particular y, por tanto, no hay una lesión individualizada que estimule la acción de los ciudadanos hacia su defensa; por otra parte, en ocasiones no se prioriza la reparación del daño, sino la indemnización. Para suplir las deficiencias que presentan los sistemas de responsabilidad

extracontractual a la hora de dar cobertura a los daños ambientales, la Comunidad Europea aprobó la Directiva 2004/35/CE, que se incorporó al ordenamiento interno mediante la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. Este sistema de protección ambiental, así pues, vendría a complementar los otros ya existentes en el ordenamiento jurídico.

El objeto de la mencionada ley es regular la responsabilidad de los operadores de prevenir, evitar y reparar los daños medioambientales causados en el ejercicio de sus actividades económicas o profesionales (artículos 1 y 3). Dentro del concepto de operador se incluye aquel que lleve a cabo actividades económicas sin finalidades lucrativas (artículo 2.10), como puede ser, según Lozano Cutanda (2009), la Administración gestora de servicios públicos. Ahora bien, como dice Soro Mateo (2009), las administraciones públicas quedan incluidas dentro del ámbito de aplicación de esta ley cuando actúan directamente, no mediante contratistas o concesionarios, dado que el artículo 2.10 considera operadores a los contratistas y concesionarios de la Administración. Este hecho es visto por De Miguel Perales *et al.* (2007) como un privilegio injustificado de la Administración. Esto se desmarcaría de numerosas sentencias del Tribunal Supremo, como las del 18 de diciembre de 1995 y 25 de octubre de 1996, que consideran la obligación de la Administración de responder de los daños ocasionados por el funcionamiento normal o anormal de los servicios públicos al margen de la gestión directa o indirecta de estos, es decir, impiden a la Administración que actúa satisfaciendo un servicio público, dentro de sus atribuciones, desplazar la responsabilidad al contratista, sin perjuicio de la acción de repetición de la Administración contra el contratista.

La Ley de Responsabilidad Medioambiental entiende por daños medioambientales, entre otros, los ocasionados a los hábitats previstos en la Directiva Hábitats y los daños a la ribera del mar (en ambos casos se incluyen las dunas) que causen efectos adversos significativos en la posibilidad de conseguir o mantener un estado favorable de conservación (artículo 2.1.a y c). Pero, ¿qué pasa cuando estos efectos no son significativos? Soro Mateo (2009) cree que el ordenamiento interno debería adoptar un concepto omnicompreensivo de daño ambiental que abarcara los supuestos de daños importantes, menos importantes, graves y menos graves para que todos, por leves que fueran, quedaran reparados, dado que esta clase de daños suelen ser fruto de la conjunción de diversas acciones deteriorantes de carácter leve que, si bien aisladamente quizá no son demasiado graves, en sinergia pueden resultar devastadoras y comportar una reparación costosa.

Un punto importante de esta ley es el hecho de que reconoce como interesados para iniciar un procedimiento de exigencia de responsabilidad a las personas jurídicas sin ánimo de lucro (artículo 42) que tengan la finalidad de proteger el medio ambiente; ejemplo claro de ello serían las organizaciones no gubernamentales ambientales.

Una vez valorado el sistema de exigencia de responsabilidad a la Administración en lo que se refiere a los daños medioambientales, vemos que presenta toda una serie de problemas procesales, no obstante la existencia de una normativa ambiental que deben cumplir tanto la propia Administración como los administrados.

La Administración pública debe responder de sus acciones u omisiones en la gestión de los servicios públicos como responsable de proteger y conservar nuestro medio ambiente, y al margen del entrama-

do procesal, lo que es cierto es que los administrados tenemos el derecho de instar que se diriman las responsabilidades, identificado con los derechos a la tutela judicial efectiva y al acceso a la justicia en materia ambiental.

En el caso concreto de la gestión de las playas y las dunas, la Administración local, y en particular los ayuntamientos, ha cedido a menudo la limpieza de las playas a empresas privadas sin establecer unos criterios que garanticen unos mínimos de recuperación y estabilidad de los sistemas playa-duna. Así mismo, y con referencia a la regulación de la frecuentación y el acceso a las playas, a través de los casos expuestos se ha visto, en los últimos años, una cierta falta de tutela por parte del Consell Insular de Menorca como órgano competente en ordenación del territorio, en el cual se incluye el litoral, sin olvidar, en todo ello, la responsabilidad que tiene la Demarcación de Costas en lo que se refiere a las funciones de control y vigilancia.

Referencias

- Ariza E, Jiménez JA, Sardá R. A critical assessment of beach management on the Catalan coast. *Ocean and Coastal Management*. 2008;51: 141-160.
- Ariza E. An analysis of beach management framework in Spain. Study case: the Catalan coast. *Journal of Coastal Conservation*. 2011;15: 445-455.
- Ariza E, Ballester R, Rigall R, Salo A, Roca E, Villares M, Jiménez JA, Sardá R. On the relationship between quality, users, perception and economic valuation in NW Mediterranean beaches. *Ocean and Coastal Management*. 2012;63: 53-66.
- Barragán Muñoz JM. Las áreas litorales de España. Del análisis geográfico a la gestión integrada. Barcelona: Ariel; 2004.
- Breton, F. Criteris per a la gestió de les platges: alguns elements per a la reflexió i elaboració de propostes. Planificació i gestió integral del litoral. Eines, estratègies i bones pràctiques. Barcelona: Diputació de Barcelona. 2004;2: 93-103.
- Breton F, Tous C, Trujillo AJ. La percepció del canvi climàtic al litoral català. In: Percepció pública i política del canvi climàtic a Catalunya. Generalitat de Catalunya; 2008. pp. 29-54.
- Carreras Martí D, Truyol Olives M. Evolució dels espais naturals protegits terrestres de Menorca (1984-2008). In: Vidal Hernández JM, Comas Lamarca E, editors. Jornades sobre els 15 anys de la reserva de biosfera de Menorca. Maó: Institut Menorquí d'Estudis. 2009; pp. 75-100.
- Conde Antequera J. La responsabilidad de la Administración por daños al medio ambiente. *Medio Ambiente y Derecho*. Revista electrónica de derecho ambiental. 2004. [cited 17 September 2015]. Available: <http://huespedes.cica.es/gimadus/11/responsabilidad.htm>.
- De Miguel Perales C., coordinator. Guía práctica de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, Guías Uría Menéndez. 2007. [Cited 17 September 2015]. Available: <http://www.uria.com/es/abogados/CDM?iniciales=CDM&seccion=publicaciones>.
- Doménech JL, Sardá R, Carballo A, Villasante CS, Barragán JM, Borja A, Rodríguez MJ, Colina A, Juanes JJ. Gestión integrada de zonas costeras. AENOR Ediciones; 2009.
- Farinós Dasí J. La gestión integrada de zonas costeras. ¿Algo más que una ordenación del litoral revisada? . Valencia: Publicacions de la Universitat de València; 2011.
- Jordano Fraga J. Responsabilidad por daños al medio ambiente. In: Esteve Pardo J, coordinator. *Derecho del medio ambiente y Administración local*. Fundación Democracia y Gobierno Local; 2006. pp. 427-459. http://repositorio.gobiernolocal.es/xmlui/bitstream/handle/10873/1122/medio_ambiente_26_jordano.pdf?sequence=1. [Cited 10 September 2015].
- Lozano Cutanda B. Derecho ambiental administrativo. Madrid: Editorial Dykinson; 2009.
- Pérez de Andrés AA. Las tensiones originadas por la nueva ordenación de los espacios naturales protegidos. *Medio Ambiente y Derecho*. Revista electrónica de derecho ambiental. 1998. [Cited 29 July

2015]. Available: http://huespedes.cica.es/gimadus/00/TENSIONES_ORIGINADAS.htm.

Pons Cànovas F. El nuevo régimen jurídico de las costas. ¿Contribuirá de forma eficaz a la protección y al uso sostenible del litoral?. Cizur Menor: Thomson Reuters Aranzadi; 2015.

Roig Munar FX. El litoral de Menorca: estat de la qüestió d'un espai fràgil i dinàmic amb alt valor socioeconòmic. In: Vidal Hernández JM, editors. Jornades sobre els 10 anys de la reserva de biosfera de Menorca. Maó: Institut Menorquí d'Estudis; 2005. pp. 155-168.

Roig Munar FX. Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les illes Balears. M.Sc. Thesis, Universitat de les Illes Balears. 2010

Roig Munar FX, Juaneda Franco J. La gestió litoral dins el marc de Menorca reserva de biosfera: quinze anys d'experiència. In: Vidal Hernández JM, Comas Lamarca E, editors. Jornades sobre els 15 anys de la reserva de biosfera de Menorca. Maó: Institut Menorquí d'Estudis; 2009. pp. 101-115.

Rullán Salamanca O. Las políticas territoriales en las Islas Baleares. Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada, núm. 47; 2010.

Sanz Larruga FJ, director, García Pérez M, coordinator. Estudios sobre la ordenación, planificación y gestión del litoral: hacia un modelo integrado y sostenible. A Coruña: Fundación Pedro Barrié de la Maza / Observatorio del Litoral de la Universidad de A Coruña, Instituto de Estudios Económicos de Galicia; 2009.

Soro Mateo B. Consideraciones críticas sobre el ámbito de aplicación de la Ley de Responsabilidad Ambiental. Revista Aragonesa de Administración Pública. 2009; 35: 185-224.

Gestión de campos dunares en las costas de Asturias, Cantabria y País Vasco (mar Cantábrico, NO de la península Ibérica)

G. Flor-Blanco¹ y G. Flor¹

¹ Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. Grupo de Geomorfología y Cuaternario (GeoQUO). Asturias, España

1. Resumen

Se detallan las intervenciones principales sobre complejos dunares en playas gestionados por las Demarcaciones de Costas y las Comunidades Autonómicas del mar Cantábrico (NO de España). Medioambientalmente y de forma extensiva, las actuaciones fueron relativamente compatibles, destacando: creación de dunas artificiales y uniformización de sus geometrías, protección de recintos con vallados disuasorios, captadores, pasarelas y plantación de especies vegetales autóctonas en diferentes campos, así como dunas inducidas por alargamiento de diques. Estas actuaciones han sido relativamente escasas, parciales y, en algunos casos, innecesarias, mientras que se han ignorado numerosos enclaves de playas y dunas necesitados de algún tipo de mejora, destacando la mayor sensibilidad por parte de la comunidad del País Vasco. A gran escala, las actuaciones más negativas están relacionadas con los puertos de Avilés y Santander, que han inducido retrocesos intensos de los campos dunares asociados, así como la construcción de la gran duna artificial de El Puntal de Laredo y otras mucho menores como tramos reducidos en la meridional (La Salvé) de Laredo, en Somo y en Navia. Se propone alguna figura de protección, ampliando el espacio reducido de dunas del Monumento Natural Playa de El Espartal, la remontante lobular de Xagó y las dunas de Sonabia. Además se sugiere el seguimiento y estudio de todos los enclaves dunares, debido al riesgo de la pérdida actual y futura como resultado de la progresiva subida del nivel del mar, que necesitan estudios acerca de la información sedimentológica, medioambiental e histórica.

2. Introducción

La región cantábrica tiene un clima atlántico, templado-húmedo, y se desarrolla dentro de una costa rocosa acantilada de dirección O-E con desniveles de hasta 100 m, mayores en el País Vasco y menos abrupta en el extremo occidental. En la franja meridional se levanta la cordillera Cantábrica, paralela al perfil costero, cuyas divisorias hidrográficas se sitúan irregularmente entre 40 y 60 km. Numerosos ríos y arroyos costeros desembocan formando estuarios, entre los que se abren ensenadas y playas, tanto arenosas, que son predominantes, como de gravas y gravillas, y, menos representadas, las mixtas.

Las cuencas hidrográficas son aportadoras netas de arenas siliciclásticas a la costa para la formación de playas y dunas y, en algunos sistemas fluviales con descargas muy energéticas en avenidas, también fracciones de gravas y gravillas. Las arenas se transportan por la deriva costera persistentemente hacia el E por la dominancia de vientos y oleajes del tercer y cuarto cuadrante, procedentes del Atlántico. La incorporación de bioclastos carbonatados se produce en el borde costero como resultado de procesos locales de afloramientos (*upwelling*) y extrusión de nutrientes y materia orgánica desde estuarios bien desarrollados en fangos y marismas. Los organismos beneficiarios forman parte de los hábitats, principalmente acantilados (Flor *et al.*, 1982).

Las variaciones del nivel del mar han jugado un papel, a largo plazo (siglos a milenios), en la formación de los estuarios, playas y dunas costeras. Los estuarios se rellenaron de sedimentos a lo largo del Holoceno y la mayor parte de las dunas más antiguas se generaron a partir del máximo eustático (transgresión Flandriense: años 4500-5000 BP). Posteriormente, el descenso del nivel del mar dejó amplias superficies de playa, que migraron hacia el mar, susceptibles de ser deflacionadas por los vientos para construir campos dunares en la trasplaya. En las últimas décadas, el nivel del mar en el

Cantábrico asciende con tasas de $1,7 \pm 0,2$ mm año⁻¹ (García-Artola *et al.*, 2014), traducándose en el retroceso de un gran número de dunas de una manera irreversible, que se incrementa con temporales como los del invierno de 2014 (Flor *et al.*, 2014). Ambos mecanismos se erigen en los fundamentales que controlan la evolución de los sistemas de playa y dunas asociadas, mientras que la gestión de dragados y las construcciones civiles pueden modificar sustancialmente los equilibrios dinamo-sedimentarios. Las playas corresponden al modelo de confinadas entre promontorios, pero también forman parte de las barreras confinantes y bahías internas de los estuarios, principalmente formadas por arena pero que ocasionalmente pueden ser de gravas y/o gravillas. Si las playas son o fueron excedentarias en sedimento arenoso, permitieron el desarrollo de campos dunares asociados por vientos de mar a tierra. Generalmente están mejor representadas al E las barreras de desembocadura de los estuarios, debido en gran parte a la corriente costera que circula de oeste a este.

Las playas arenosas son numerosas en esta costa y objeto preferente de uso ciudadano, de modo que su gestión pasa por mantenerlas, desde la perspectiva geológica, en equilibrio dinamo-sedimentario con el objeto de que tengan un desarrollo sostenible. Lo mismo cabe decir de los sistemas dunares, mucho más necesitados de conservación por la singularidad de la colonización vegetal y los procesos de retroceso por erosión en curso. Diferentes normativas legislativas inciden en estos medios costeros, desde la Ley de Costas de 2013 y su Reglamento a nivel general, hasta las de protección ambiental, muchas de gestión europea: Red Natura 2000, LIC y ZEPA, y Reservas de la Biosfera; estatales y autonómicas: PORN (Vacas Guerrero, 2005), POL, con la inclusión de la figura de *parque-playa* en Asturias, y otras (Florido Trujillo y Lozano Valencia, 2005), incluyendo las de régimen local, como los planeamientos urbanísticos y territoriales y de protección del medio ambiente, más directamente con el uso de las playas.

La clasificación de dunas, que debe regir para la protección de sus hábitats, fue propuesta por la Directiva 91/43 de la Unión Europea, pero también deben tenerse en cuenta otras reglamentaciones como la Ley 42/2007, que recoge la necesidad del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, o el Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre (http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/TODO_tcm7-338467.pdf).

En el primer tercio del siglo XX, en esta costa se invirtieron muchos recursos en la ampliación de puertos pesqueros y comerciales, destacando las obras en estuarios con la fijación de los canales principales y el alargamiento de pasos de desembocadura con diques. Desencadenaron la migración de las barreras confinantes mar afuera y la consiguiente formación de nuevos y amplios campos dunares (Flor-Blanco *et al.*, 2015a), como los casos de Navia, Nalón, escasamente en Avilés, Villaviciosa, San Vicente de la Barquera, Plentzia, Deba, Santiago o Santixo (Zumaia), Orio o Antilla y Bidasoa. Asimismo, se simultanearon con dragados estuarinos cada vez más intensos a medida que se suscitaron las mayores ampliaciones portuarias, a partir de los años ochenta; una consecuencia se manifestó en los campos dunares asociados a las barreras confinantes de estos estuarios, que experimentaron retrocesos dramáticos: Salinas-El Espartal por el puerto de Avilés (Flor-Blanco *et al.*, 2013) y El Puntal-Somo-Loredo por el de Santander.

En esta zona costera cantábrica, las playas y los campos dunares (Fig. 1) permanecieron relativamente estables hasta el desarrollismo de los años sesenta del siglo pasado, tanto en relación con los

cambios indirectos y directos sobre estos espacios como con los derivados de la elevación del nivel del mar, cada vez más protagonista en el retroceso de estos ambientes morfosedimentarios. Posteriormente, el litoral ha experimentado un alto grado de artificialización, fundamentalmente debido a la urbanización, incluyendo el modelo de ciudad dispersa, con un alto consumo de suelo (Arenas Granados, 2009). Precisamente, la necesidad de áridos para la construcción y la implantación de grandes complejos industriales se tradujo en las primeras extracciones de arenas en playas y dunas desde 1950, desencadenándose la pérdida de volumen sedimentario y el arrasamiento de morfologías dunares. Fueron intensivas en la playa de Laida (barrera confinante del estuario de Oka) para reconstruir la ciudad bombardeada y en la transición de la playa-dunas en Xagó para la siderurgia de Avilés. Posteriormente, se instalaron otros areneros en numerosos campos dunares: área interna Xagó, Salinas-El Espartal, Liencres, Loredó, etc., que se clausuraron, algunos después de más de una década de actividad. Otras prácticas, como la implantación de urbanizaciones, industrias, polígonos, balsas de residuos industriales, viales, paseos marítimos, etc. han arruinado grandes extensiones de dunas costeras (Salinas-El Espartal, Gijón, Ribadesella, Noja, Laredo, Las Arenas de la margen derecha del estuario del Nervión, Plentzia, Zarautz, Zurriola...). Después de practicar algunas sacas arenosas se rellenaron con escombros urbanos (Salinas) y basuras domésticas (Los Quebrantos).

Una contribución anterior sobre playas y dunas en Asturias y Cantabria (Flor *et al.*, 2012) avanzaba algunas modificaciones ambientales en estos ámbitos costeros, que, en el caso de campos dunares, se detallan para este trabajo y se incluyen sistemas dunares de interés geológico cuyo manejo ambiental ha sido el resultado de prácticas dignas de reconocimiento. La aplicación de técnicas contrastadas de bajo impacto ambiental en la recuperación de complejos dunares de Cantabria y País Vasco no ha tenido eco alguno en Asturias. En todo caso, debe servir de referencia para la gestión futura, aprendiendo de los aciertos y errores, así como de su aplicabilidad a nuevas intervenciones.

También se hace una llamada a la financiación y al apoyo de estudios que sirvan para comprender la formación de estos espacios naturales ya que, debido a la antropización o por la paulatina y alarmante subida del nivel del mar, se encuentran en el momento justo por el cual pudiera perderse gran parte de estos datos tan importantes para comprender y comparar con futuros cambios climáticos. Los depósitos dunares no solo sirven para comparar eventos de sedimentación o recesión, sino que también permiten obtener información acerca de los paleoambientes en los que se produjeron dichos eventos, siendo por tanto una fuente de información muy valiosa para el colectivo investigador. Los datos contenidos en sus depósitos sacan a la luz aspectos como las fluctuaciones del nivel de mar durante el Holoceno, procesos tormentosos cíclicos o excepcionales, tasas de sedimentación antes y después de la presencia de la intervención humana, trazas de contaminación y metales, origen de los aportes sedimentarios provenientes de la plataforma o bien de las cuencas fluviales suministradoras y sus características. Como hábitats protegidos por la Comunidad Europea (Gracia *et al.*, 2009), su evolución y contenido vegetal permiten conocer las especies que han ocupado dichos enclaves, siendo por tanto una fuente inagotable de datos paleoambientales muy valiosos gracias a restos leñosos, rizoconcreciones, paleosuelos, fauna, etc.

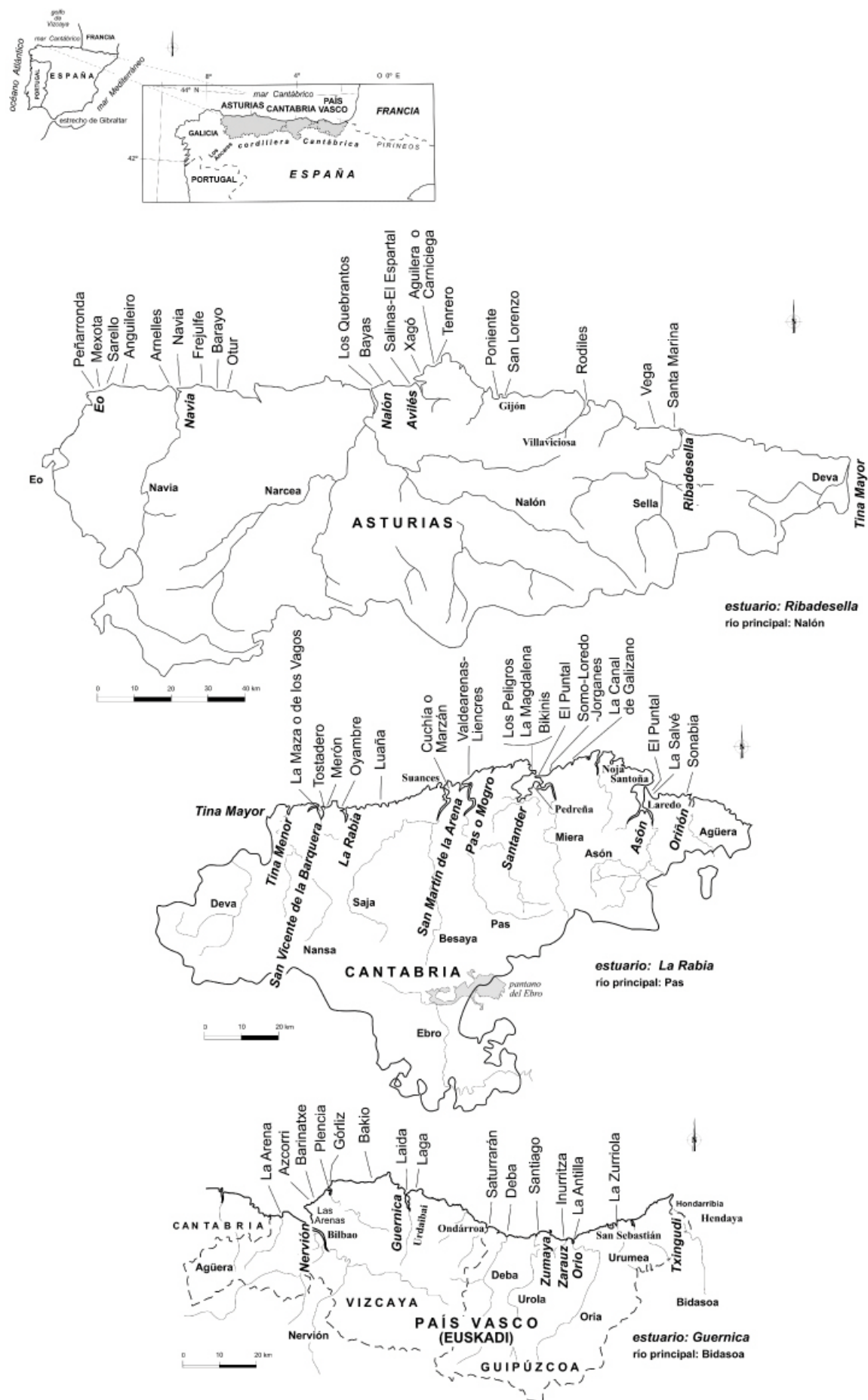


Figura 1. Situación de los campos dunares eólicos más importantes en la costa cantábrica y algunas localidades citadas en el texto.

3. Gestión de dunas

La mayor parte de playas y dunas evolucionan sin intervención alguna, con la excepción de las labores correspondientes a limpieza, vigilancia de baños y otros servicios (duchas, roperos, etc.), que se generalizan durante la época estival. En los últimos años, numerosos campos dunares están experimentando una recesión en la horizontal de escala métrica e, incluso, decamétrica sin que se tomaran medidas paliativas para ralentizar el proceso. Está muy generalizada la ubicación de aparcamientos para vehículos, accesos para minusválidos, quioscos, etc., que han de ser construidos para dar servicio con la consiguiente pérdida de sedimento y morfologías dunares. Si a esto se añaden los daños producidos por los temporales desde hace más de una década, se comprende que gran parte de los elementos citados, además de los servicios para el usuario, deberán ser reparados o bien eliminados.

La gestión que afecta a la morfología y sedimentación de playas y dunas en esta costa, tendente a mantener el equilibrio natural, ha sido muy variada, con intervenciones diferenciadas y concentradas en determinados entornos. En campos dunares se han aplicado las técnicas habituales (Ley de Vega *et al.*, 2007): 1) delimitación de espacios mediante estacas y cordadas, 2) colocación de captadores de arena, 3) plantación de especies vegetales características obtenidas en viveros (Colmenar, 2001), 4) reconstrucción de nuevas dunas y 5) extensión de pasarelas de acceso a la playa y paralelamente como sendas peatonales. Estas labores suelen ir acompañadas de la inclusión de paneles divulgativos para concienciar a la ciudadanía de su importancia en aras de un mayor disfrute y una mejor preservación.

En el caso de playas, algunas prácticas han supuesto la regeneración de forma inducida de dunas asociadas. Entre las más generalizadas: 1) adición sedimentaria sobre playas existentes para incrementar la superficie de asiento, 2) realimentación en playas en fase de retroceso con arenas procedentes del ámbito submareal de la playa o de la plataforma continental próxima, 3) transferencia sedimentaria de un área excedentaria de la playa a la deficitaria, 4) creación de nuevas playas, generalmente apoyadas.

Un ejemplo ha sido el relleno excedentario para la creación de la nueva playa de Poniente (Gijón) en 1995 ha supuesto la formación de dunas en los dos extremos de la playa por componentes de vientos del NE y NO, respectivamente; las occidentales son removidas mecánicamente, incorporando las arenas a la playa (Flor *et al.*, 2008).

De una forma generalizada, los temporales extraordinarios de carácter destructivo son atendidos con intervenciones casi inmediatas sobre obras civiles (paseos marítimos, mobiliario urbano, diques, etc.), pero con mucha menor dedicación para reponer la estabilidad morfosedimentaria de playas y, todavía mucho menos, de dunas.

4. Ejemplos en Asturias

Las playas asturianas, incluidas las que contienen dunas, mantienen un alto grado de naturalidad ya que únicamente se mejoraron los accesos y las áreas de aparcamiento, algunos privados. Las playas ciudadanas se han encorsetado con muros y paseos marítimos, ocupando en algunos casos antiguos campos dunares, con la problemática añadida de estar sometidas a destrozos por temporales en la obra civil y el mobiliario urbano.

La mayoría de los campos dunares de Asturias evolucionan sin intervención alguna, a pesar de que se producen retrocesos de escala métrica en las dos últimas décadas. Algunos fueron rehabilitados parcialmente, mediante el cierre al paso de vehículos, la homogeneización de las morfologías sobre áreas previamente sometidas a sacas de arena, construcciones de servicios para el uso estival y extensión de pasarelas de madera para acceder a la playa, etc., como son los casos de Penarronda, Los Quebrantos, Salinas-El Espartal, Xagó y Rodiles. Uno de los puntos negativos en las mejor conservadas se detecta en la dedicación de viales y aparcamientos a vehículos en detrimento de superficies dunares, como Navia, Frexulfe, Los Quebrantos, Bayas y Vega. Algunas fueron urbanizadas irreversiblemente, como San Lorenzo (Gijón) y Santa Marina (Ribadesella), las internas de Los Quebrantos y Rodiles y, de una forma bastante extensiva, la de Salinas-El Espartal.

4.1. Conjunto de playa-dunas y estuario de Barayo

Este conjunto morfosedimentario, desarrollado en la desembocadura del río costero de Barayo (Fig. 1, occidente de Asturias), tiene una superficie de 3,42 km² protegida como Reserva Natural Parcial (Decreto 70/1995), incluido también como LIC de Penarronda-Barayo y ZEPA de Penarronda-Barayo. Una amplia superficie de playa y el complejo dunar constituyen la barrera confinante de un estuario reducido con escasa participación de la intrusión salina. Consecuentemente, por detrás de la barrera se desarrollan marismas subhalófilas con juncos (*Juncus maritimus*) y carrizo (*Phragmites australis*), así como prados higrófilos con el lecho fluvial y canal principal estuarino, adoptando un trazado meandriforme. La playa es de carácter disipativo con desarrollo de una amplia terraza de bajamar, temporalmente seccionada más frecuentemente por una corriente de resaca en posición centrada.

Las dunas constituyen un campo dunar de gran importancia construido por la progradación de dos sistemas de cordones dunares, interrumpidos por dunas lingüiformes, que se fijaron con pinos, y experimenta un retroceso considerable. Así, el primer cordón se ha erosionado en los últimos 15 años con un retroceso medio de 19 m, aproximadamente, siendo el evento catastrófico de los temporales de invierno de 2014 el que provocó recesiones de hasta 18 m (Flores-Soriano, 2015) y exhibiendo un escarpe permanente de 6-8 m en su frente (Fig. 2A y B).

La singularidad de la gestión positiva de este espacio partió de la decisión del regidor del Concejo de Valdés de aplicar una solución tan simple como cortar el vial para vehículos por la parte oriental y la habilitación de la Demarcación de Costas acondicionando un aparcamiento y, a un centenar de metros, el escalonamiento con madera por el extremo opuesto para acceso peatonal.

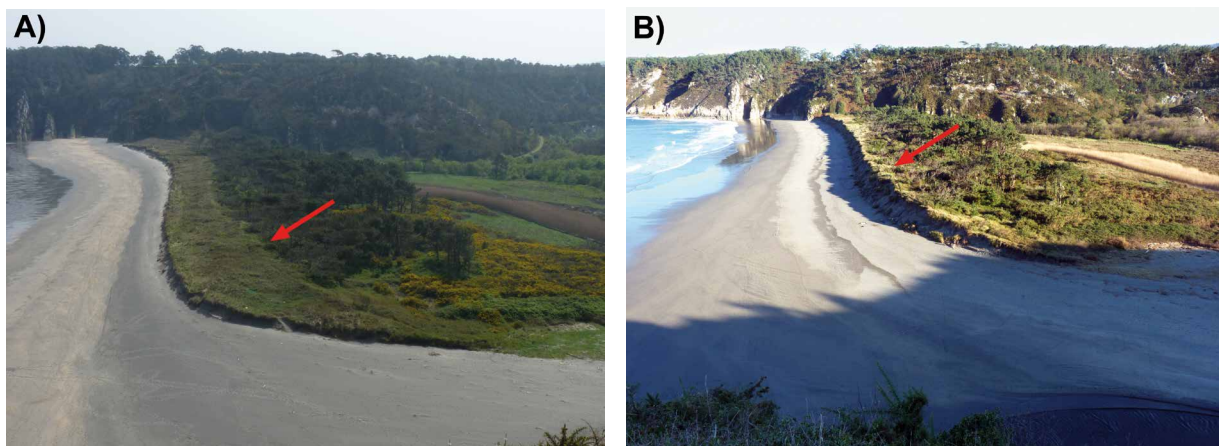


Figura 2. A) Evolución del sistema dunar de Barayo entre 2011 y B) después de los temporales sufridos en la costa cantábrica a primeros de febrero y marzo de 2014, en que se detecta un retroceso significativo.

4.2. El Playón de Bayas

El Playón de Bayas, junto con la Isla de La Deva, fue declarado Monumento Natural en 2002 y también contiene las figuras de protección LIC y ZEPA. Se encuentra en el concejo de Castrillón (costa centro-occidental de Asturias) y tiene una longitud de casi 3 km, siendo una de las mayores playas de Asturias. Su gran extensión es debida a la proximidad de la desembocadura del río y estuario del Nalón, que drena una cuenca hidrográfica muy amplia (ríos Nalón y Narcea, que constituyen la mayor cuenca de la costa cantábrica). El sedimento aportado, particularmente la fracción arenosa, es removilizado por los agentes dinámicos costeros hasta depositarlo en la playa, desde donde el viento lo deflacionará hasta depositarlo en la zona de posplaya para formar los campos dunares asociados.

El puerto de San Esteban de Pravia, dentro del estuario del Nalón, llegó a ser el mayor puerto carbonero del Cantábrico entre finales del siglo XIX y, principalmente, el siglo XX. Dicha etapa conllevó la construcción de un puerto adecuado y el mantenimiento de los calados para facilitar la navegación; esto último se consiguió con dragados constantes de grandes volúmenes de arena. Este proceso derivó en un déficit sedimentario del sistema, que se dejó notar en el vecino Playón de Bayas, produciéndose una erosión intensa del campo dunar durante más de medio siglo (Fig. 3A y B). En el último cuarto del siglo pasado, el puerto de El Musel en Gijón se convirtió en el principal puerto asturiano, haciendo que el de San Esteban de Pravia entrara en declive, con una disminución de los dragados, lo cual tuvo como respuesta la creación y progradación del campo dunar en el Playón de Bayas (Diego-Cavada, 2014).

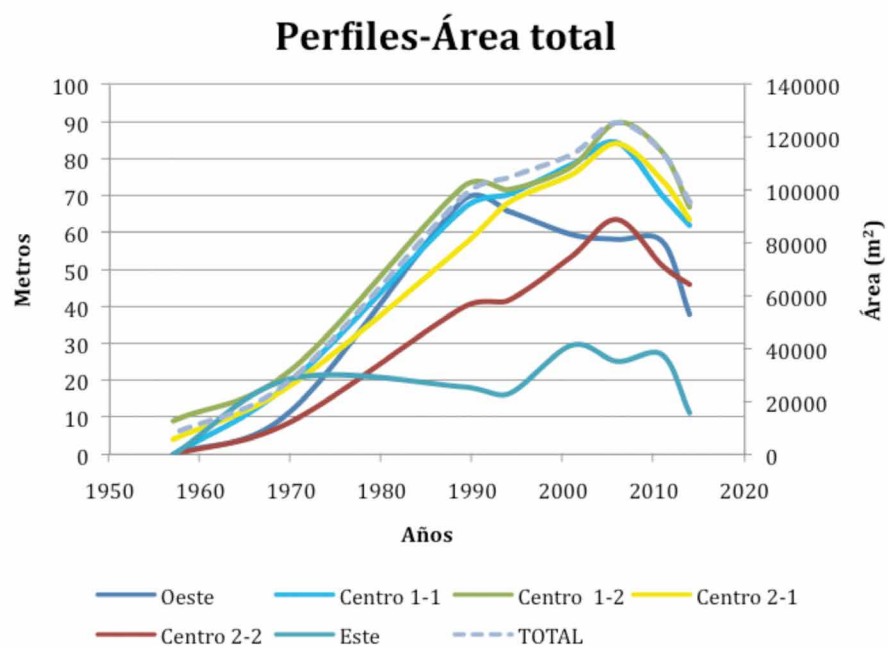
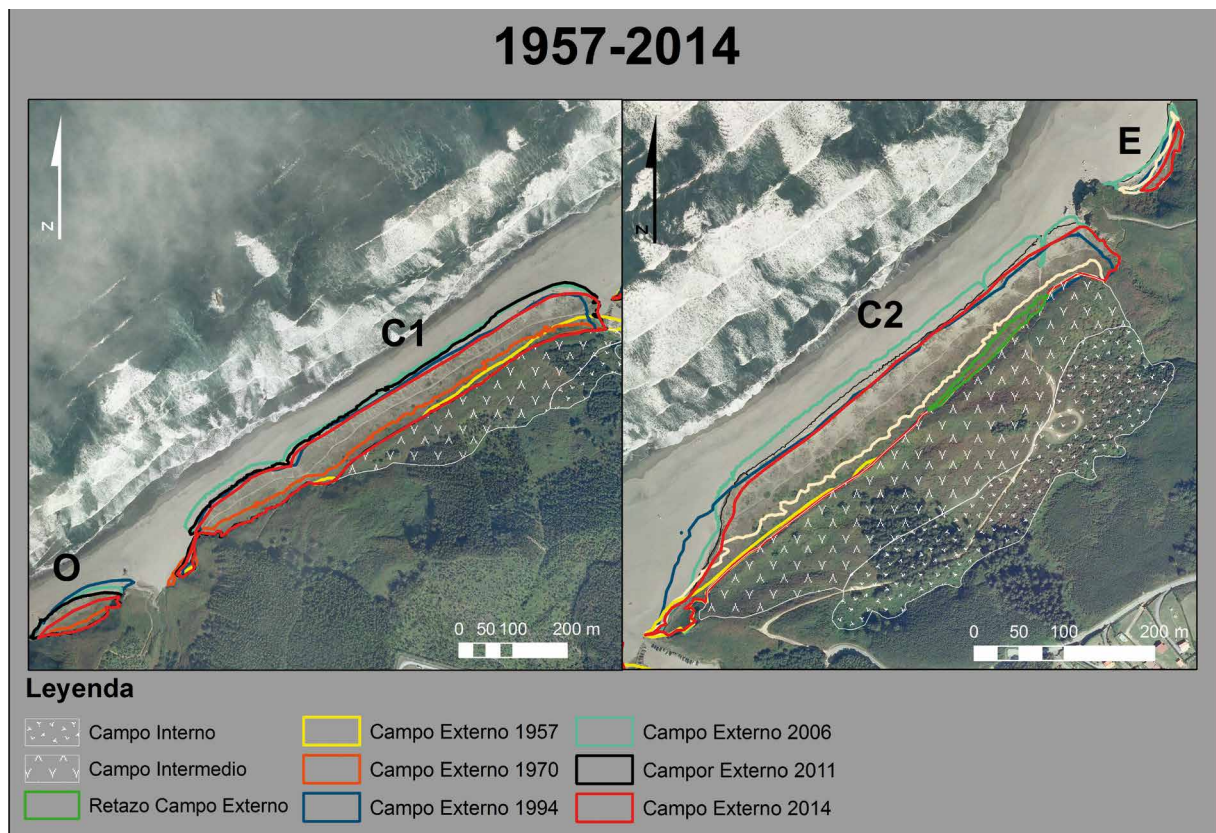


Figura 3. A) Evolución del campo dunar de Bayas hasta 2014 (modificado de Diego-Cavada, 2014). B) Totalidad de los perfiles en los que se incluye la variación total del área del campo externo del campo dunar de Bayas (Diego-Cavada, 2014).

Este campo dunar conserva un campo interno constituido por dunas remontantes; un campo intermedio, el más extenso, representado por cordones dunares (hasta 3) y dunas lingüiformes de gran envergadura;

y el externo, formado por un conjunto tabular o de cordones dunares incipientes. Esta franja externa se ha formado durante los últimos 50 años (Fig. 3), una vez cesados los dragados intensivos en el Nalón (Diego-Cavada, 2014), y está sometida, actualmente, a un retroceso importante.

4.3. Playa y dunas de Salinas-El Espartal

Este conjunto pertenece a la barrera confinante del estuario de Avilés (Fig. 1, centro de Asturias). Las arenas representativas son medias y finas siliciclásticas, pero en la playa, además, se reparten gravas y gravillas naturales y residuales (baldosas, cemento, ladrillo, etc.) del antiguo paseo marítimo destruido y que no se evacuaron a tierra en su momento. La playa es extensa, con 3260 m, medidos en la parte alta de su arco original. Morfodinámicamente, se suceden cíclicamente los tipos disipativo e intermedio con terraza de bajamar, desarrollando numerosas corrientes de resaca, alguna enraizada en el propio talud del paseo marítimo, donde los procesos de reflexión de la ola son más acusados.

Las dunas de Salinas-El Espartal representan el mayor campo dunar de Asturias, con unas 395 ha en su superficie original, repartidas en 3 franjas paralelas a la playa: campo interno, intermedio y externo (Flor, 2004), de las cuales la interna es la más antigua y ha sido casi totalmente urbanizada e industrializada. El intermedio es el más extenso y con altimetrías que pueden alcanzar 30 m, localmente, mayor hacia el E; el tercio occidental está urbanizado, y el oriental se ha ocupado por industrias y polígonos, así como por las instalaciones portuarias y del ferrocarril.

Solamente las dunas de una franja cercana a la playa fueron incluidas como Monumento Natural Playa de El Espartal, declarado por Decreto 81/2006, que ocupa una superficie de 0,056 km². Parte de estas dunas que bordean la playa están dentro de terrenos privados, propiedad de Aldergarten S.L., cuya licencia de obras para levantar viviendas está plenamente vigente, que el ayuntamiento pretende permutar por la finca «El Pinar de Salinas», situada sobre suelo dunar natural en una posición más alejada. Está incluida en el Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) de Cabo Busto-Luanco y en la Zona de Especial Protección (ZEPA) para las Aves de Cabo Busto-Luanco. Está catalogada como Playa Natural por las Directrices Subregionales de Ordenación del Territorio para la Franja Costera de Asturias.

Esta superficie, que ocupa la banda que orla la playa, está constituida por cordones dunares sucesivos, paralelos entre sí y a la orilla, de los cuales el limitante con la playa es el de mayor envergadura, tanto en anchura como altura. Están representadas comunidades vegetales de dunas blancas y grises (Díaz González y Fernández Prieto, 1993; Lastra López, 2005; Díaz González, 2009). El resto de la duna, comprendido entre esta duna artificial y el extremo oriental del paseo marítimo mencionado, está en retroceso. Lo mismo ocurre con la playa, que pierde volumen sedimentario de manera importante desde los años 85 al 90 y posteriores como resultado de los dragados en el vecino estuario de Avilés (Fig. 4A), del cual playa y dunas constituyen la barrera confinante.

La gestión de este campo dunar ha consistido en:

- En el área oriental, se recuperaron unos 70 000 m² de playa que formaba parte de un polígono rellenado sobre la propia playa intermareal, así como un aparcamiento y un edificio

de servicios. Está en fase activa por cuanto llegan arenas procedentes del transporte de la deriva de la playa, con una persistencia hacia el E, construyéndose lóbulos arenosos y un cordón dunar incipiente.

- Se retiró el material de vertido, recuperándose el extremo oriental de esta playa. Por detrás, se construyó una duna artificial con 50 000 m³ de arena, surcada por pasarelas, recubriéndola con arenas y plantando barrón.
- En la banda interna de sotavento del cordón dunar activo, se eliminaron las naves y los edificios municipales y se procedió a rellenar las áreas de sacas de arenas.
- Se extendieron pasarelas de madera como prolongación del paseo marítimo de la playa de Salinas, en el denominado El Espartal, que recorren la trasera de las dunas con un total de 1,2 km. Transversalmente, se han completado con otras menores que culminaban con miradores.

Hasta la década de los sesenta, la playa se continuaba transicionalmente por el primer frente dunar, excepto el borde occidental, donde se urbanizó la localidad de Salinas, y la conexión vial con la fábrica de Arnao al E. La construcción de un paseo marítimo y la progresiva urbanización y ubicación de industrias sobre la franja dunar se fue extendiendo hacia el E, de modo que las dunas activas solamente lindaban con la playa en un segmento de algo menos de la mitad.

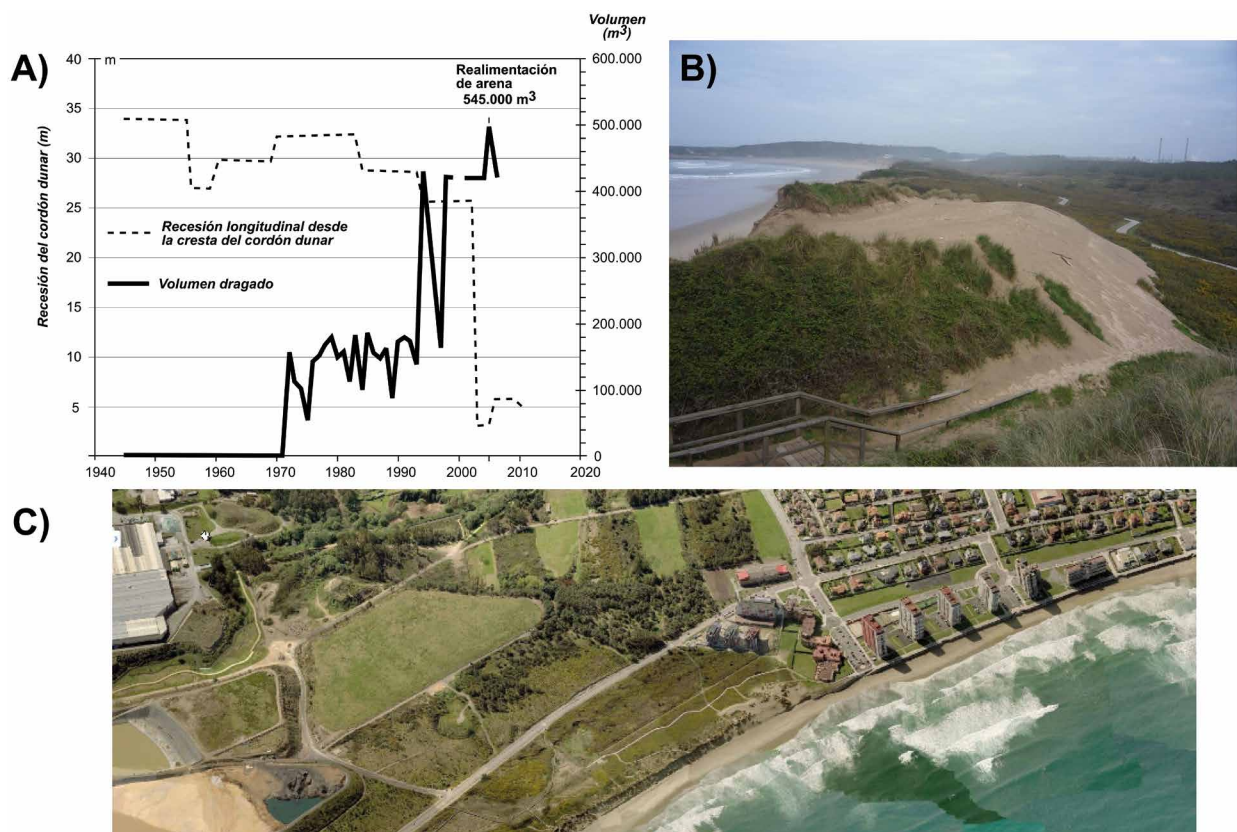


Figura 4. A) Evolución del retroceso del frente dunar de Salinas-El Espartal en relación con los volúmenes de los dragados del vecino puerto, situado en el estuario de Avilés (modificado de Flor-Blanco et al., 2013). B) Duna lingüiforme que actualmente está siendo deflacionada e invade las sendas que cruzan el campo dunar. C) Vista oblicua (Bing Maps, 2014), con el campo dunar de El Espartal natural y su frente erosivo en contacto con la playa, la localidad de Salinas, que ha ocupado gran parte de éste, y la balsa de Jarosita (inferior izquierda), que desnaturalizó parte del campo intermedio.

Desde los años ochenta, el puerto ubicado dentro del estuario de Avilés puso en práctica la ampliación de sus instalaciones para dar cabida a buques de gran porte, efectuando campañas de dragados de fondos de gran entidad. Buena parte del material fue basculado sobre los frentes sumergidos de la vecina playa de Xagó, situada justo al E. Desde esas fechas, el frente dunar de Salinas-El Espartal adquirió un perfil subvertical con desniveles que superan los 7 m.

En dos entornos de este conjunto dunar en contacto con la playa, el pisoteo y la estancia de usuarios durante el verano han inducido el desarrollo de cubetas sobre las que se han desencadenado procesos de deflación con el transporte de la arena a sotavento del cordón dunar (Fig. 4B) bajo la forma de sendas dunas de proyección o *lee-projection dunes* (Cooper, 1958) o lingüiformes (Flor, 1986), que Favennec (2002) cita de pasada como dunas *en tas* o *en dos de baleine* (lomo de ballena) en Aquitania. Consecuentemente, la duna libre comenzó una historia de recesión que, en los temporales del pasado invierno de 2014, llegó a máximos retrocesos medidos en la horizontal superiores a 25 m cerca del final del paseo marítimo (Flor *et al.*, 2014) y con medias de 15,52 y 2,55 m a lo largo del frente dunar (Flores-Soriano, 2015).

Por su parte, la playa perdió parte de su volumen hasta el punto de que se arruinó el paseo original sobre la traza urbana de Salinas, construido sobre el cordón dunar, al descalzarse sus cimientos sobre la arena a finales de enero y mediados de febrero de 1990. El nuevo paseo se inauguró en 1994 y en la actualidad presenta graves problemas de estabilidad a pesar de que en los últimos años se ha construido una franja escollera en la base para evitar su descalce.

A día de hoy, ya el Cedex (2010) cree necesario aportar 600 000 m³ de arena y prolongar el espigón de San Juan de Nieva, realizado en 2004 con una longitud de 400 m y una nueva aportación a la anterior de 438 478 m³ de arena procedente de la plataforma continental interna al NO (cercano al cabo Vido) en 2004. Este mismo organismo ha cifrado en 302 633 m³, entre 2005 y 2009, el volumen arenoso perdido por los dragados del estuario, de los cuales algo más de la mitad —176 748 m³— tuvieron lugar en la bocana, es decir, en la franja de transición con la playa sumergida de la barrera confinante.

Las propuestas para este espacio que se han arbitrado por parte de los redactores de este trabajo se resumen en:

- Aprovechar las fracciones arenosas limpias dragadas en la bocana y el tramo externo del canal principal del estuario de Avilés, basculándolas en la playa sumergida de la playa de Salinas-El Espartal a profundidades de 5 a 8 m, mejor en la mitad occidental para que los oleajes incidentes del NO, que son los dominantes, transporten gradualmente las arenas hacia la playa emergida y hacia el E.
- Realimentar en los próximos 20 años con volúmenes de unos 400 000 m³ cada 3-4 años hasta culminar una cifra de 2 500 000 m³ que representaría la estabilidad de la playa y sus dunas.
- Obviamente, se debe acompañar de vigilancia ambiental de la playa emergida y sumergida, centrada en la reconstrucción batimétrica de detalle para cada ciclo calma-tormenta anual, determinando las ganancias y pérdidas.

Los retrocesos del frente dunar durante los temporales de 2014 arruinaron algunos miradores que se pretende sean repuestos, aprovechando una revisión de las pasarelas y la extracción de los mantos arenosos sedimentados en algunos tramos desde su creación (Fig. 4C).

4.4. Playa y dunas de Xagó

Situada al E del estuario de Avilés (Fig. 1), está constituida por arenas medias y finas siliciclásticas, con gravas y gravillas dispersas, que tienden a concentrarse en el extremo occidental. Este amplio sistema de playa y dunas ha sido sometido a alteraciones directas importantes, como minería intensiva de arena, sacas puntuales de arenas y recepción de vertidos de los materiales dragados en el estuario de Avilés de arenas y gravas, unas operaciones ejecutadas sin los permisos oportunos durante el último cuarto del siglo pasado (Fig. 5). La sobresedimentación ha permitido construir, en contacto con la playa, una nueva duna de tipo tabular o cordón dunar incipiente. Por el contrario, la playa contiene desde hace unos años una mayor proporción de fracciones groseras que se acentúan durante temporales de ola, fracciones procedentes de los dragados citados del estuario de Avilés.

El amplio conjunto dunar contiene tres campos desde el área interna hasta la playa: interno (dunas remontantes), intermedio (gran cordón dunar) y externo (cordón dunar anterior y duna tabular o cordón incipiente). El intermedio, en su costado occidental, fue sometido a sacas de arena durante más de una década en una amplia superficie, y en el oriental a otras extracciones menores.

Finalizado el contencioso del deslinde en este sistema dunar, la Demarcación de Costas de Asturias excavó la depresión dedicada a las sacas de arenas para hacer que aflorara el nivel freático y crear, así, un humedal para las aves y una senda perimetral, incluyéndolo dentro de los espacios protegidos ZEPA. Remodeló algunos espacios para dedicarlos a aparcamientos y casetas de servicios, culminados con la extensión de pasarelas de madera longitudinales y transversales.

En 2012, sobre la zona occidental se extendió un emisario submarino de 2588 m de longitud para los efluentes de aguas depuradas e industriales que en nada afectan al conjunto y en la actualidad, las numerosas pasarelas que cruzan los distintos cordones dunares siguen dando utilidad a los usuarios, aunque las situadas en los corredores cercanos al cordón dunar externo ya han sido recubiertas por la arena deflacionada. Cabe añadir el total abandono en cuanto a la inexistencia de papeleras y paneles informativos e, incluso, se han desmontado las estructuras circulares de madera que servían como elementos comunes de duchas y aseos. La imagen actual de éstos es un perímetro sin acondicionar, perímetros dunares excavados y escombros de su desmantelamiento.



Figura 5. Aspecto del campo dunar de Xagó (Bing Maps 3D, 2014). Gran parte del campo dunar intermedio fue desmantelado para la minería extractiva de arena. Los continuos dragados en el estuario de Avilés, situado al oeste, y su posterior vertido en la playa sumergida de Xagó, han favorecido la formación de un cordón dunar desde 1979 con anchuras máximas de 60 m.

4.5. Dunas de Aguilera o Carniciega y Tenrero (Podes y Verdicio)

Estas dos playas contiguas en el costado occidental de la punta de Peñas (Fig. 1) desarrollaron campos de dunas, de las cuales las de Aguilera están en retroceso desde hace más de 60 años, pero transfiriendo arena a los orientales de Tenrero. Esta construyó, además, en una etapa antigua, un campo de eolianitas pobremente cementadas sobre el que se construyó una urbanización de chalets. El conjunto externo, más reciente y activo, contiene tipologías de dunas lingüiformes, colgadas y remontantes, una vegetada y la otra sometida a caídas libres como actividad de ocio, que disminuyen el volumen sedimentario. Es un entorno muy adecuado para aislar recintos que favorezcan la captación de arenas y el crecimiento de algunas dunas.

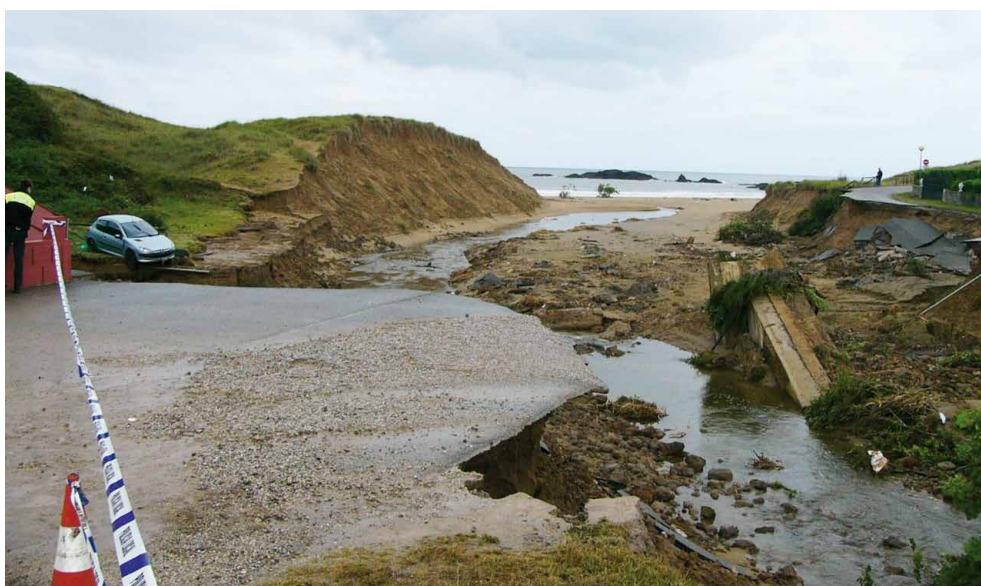


Figura 6. Imagen de los taludes seccionados en el cordón dunar de la playa de Tenrero (izquierda), practicados por el arroyo Bedular, y el afloramiento cortado del campo dunar interno en el área urbanizada (derecha).

Entre el 12 y 13 de junio de 2010, la mayor gota fría de la historia de Asturias afectó principalmente al área septentrional de cabo de Peñas, Avilés y alrededores, y al occidente asturiano, provocando numerosos daños en la costa. Cabe destacar la rotura del puente de acceso a la urbanización construida sobre las antiguas dunas longitudinales de Tenrero, que permitía sortear el arroyo que desemboca en dicha playa. El represamiento generado por el inadecuado mantenimiento en los ojos del puente provocó una acumulación ingente de lodo, residuos, troncos y agua que terminó por hacer ceder la estructura, arrastrar parte del perímetro de la urbanización y romper transversalmente las dunas situadas inmediatamente por delante. Esto provocó la formación de escarpes de más de diez metros y la exposición a modo de corte longitudinal de las antiguas dunas tapadas por las construcciones (Fig. 6). Sin embargo, este fenómeno favoreció el aporte de miles de metros cúbicos de arena a la playa, que han sido insuficientes para detener la erosión debida a los temporales y que, junto a la subida del nivel del mar, dan lugar a taludes erosivos en la mayor parte del frente dunar.

4.6. Dunas de Rodiles (Estuario de Villaviciosa. Reserva Natural Parcial)

El complejo dunar de Rodiles culmina la barrera confinante del estuario de Villaviciosa (Fig. 1, oriente asturiano), que experimentó una migración hacia el N por construcción y alargamiento de diques en la bocana desde 1926, la cual alcanzó los 380 m hasta 1945 (Fig. 7A, foto en blanco y negro). Esto indujo la formación de un amplio campo dunar con topografías suavizadas, debido al rápido crecimiento de este campo nuevo al que posteriormente, en los años cincuenta, se dotó de una plantación de eucaliptos y algún pino (Flor-Blanco *et al.*, 2015a) hasta alcanzar un cierto equilibrio morfodinámico y sedimentario (Fig. 5B) antes del fin del siglo XX.

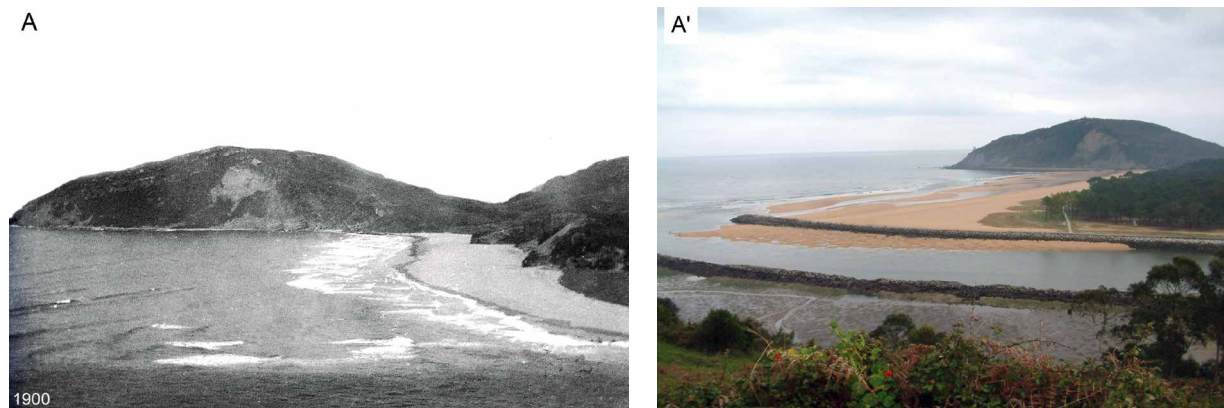


Figura 7. A) Evolución del campo dunar de Rodiles desde la instantánea de 1900 en estado natural. A') Después de la construcción y el alargamiento de los diques en 2012.

Hacia 1990, se detectaron los primeros indicios de un retroceso hasta los primeros árboles de la parte occidental de la playa, cuyas raíces quedaron al descubierto, un proceso ya evidenciado con mayor intensidad en la zona oriental (Fig. 8A). Además, la ocupación por parte de vehículos de las antiguas dunas vegetadas favoreció la degradación continuada del conjunto, habiéndose modificado gran parte de las morfologías dunares debido al deterioro de este recinto y la continua ocupación del cordón dunar externo, que en gran medida había desaparecido. A partir de finales del siglo XX, la Demarcación de Costas de Asturias procedió a cerrar el acceso a las dunas vegetadas por eucaliptos y pinos. Aislaron varios recintos mediante cuerdas trenzadas y troncos cilíndricos tratados de 10 cm de diámetro y 1,0 m de exposición (Ley Vega de Seoane *et al.*, 2007) y extendieron pasarelas sin barandillas. Las

duchas fueron colocadas estratégicamente a la altura de los pasillos acondicionados en lo que puede considerarse como uno de los mejores ejemplos de buena gestión en la protección de un sistema dunar.



Figura 8. A) Detalle del escarpe de las dunas a la altura de los eucaliptos y pinos (borde occidental) en el límite con la playa y los vehículos aparcados dentro del campo dunar externo en 1995. B) Vista desde la margen contraria en 2014, con el cordón laxo formado después de las medidas de acordonamiento y replantación efectuadas a finales del siglo xx.

En los últimos años, se ha recuperado el frente de esta duna con la construcción de un cordón dunar incipiente y la colonización densa de vegetación de forma natural, con mayor profusión de la *Ammophila arenaria* (Fig. 8B). Más tardías han sido las intervenciones de vallado en el pasillo de acceso principal y costado oriental, pero también las respuestas han sido relativamente rápidas y positivas.

Por último, la gestión del Servicio de Puertos del Principado de Asturias ha permitido que el sistema no sufra déficit sedimentario mediante el vertido dentro de la profundidad del cierre del sedimento dragado en el canal escollerizado y la dársena de El Puntal (Flor *et al.*, 2015).

5. Ejemplos En Cantabria

Las playas y dunas de Cantabria repiten los mismos modelos en cuanto a un alto grado de naturalidad, siendo habituales las alteraciones producidas para facilitar los accesos a la playa, aunque mínimamente. También estos campos dunares evolucionaron libremente con retrocesos variables de unos a otros.

En general, se han implantado captadores de fibras vegetales, plantaciones de especies dunares con una cierta biodiversidad y acordonamientos y, para controlar el acceso de los usuarios, se construyeron pasarelas apoyadas y elevadas.

Dados los efectos destructivos de los temporales en la última década, principalmente durante el invierno de 2014, en algunas playas de mayor afluencia se han decidido regeneraciones controladas con material del mismo sistema, como a partir de los depósitos arenosos de los dragados de canales portuarios o bien trasvases de la zona sumergida a la emergida.

5.1. Playas y dunas estuarinas de San Vicente de la Barquera

La playa expuesta de Merón, situada en la barrera confinante del estuario de San Vicente de la Barquera (Fig. 1, occidente de Cantabria), tiene la peculiaridad de haber sido modificada en 1944 mediante la construcción de un dique prolongado respecto al paso de desembocadura original, que serviría de canalización de la bocana y, así, para facilitar el tránsito portuario (Flor-Blanco *et al.*, 2015a). Dicho encorsetamiento permitió una progradación de la franja dunar en torno a un máximo de 200 m en los últimos 70 años. Los cordones dunares y dunas tabulares generadas no son de gran amplitud debido a la rápida progradación del sistema. A partir de los años setenta, el campo dunar empezó a ser ocupado para la construcción de edificaciones en la margen oriental y de un camping en la parte trasera. Con la mayor afluencia turística, en menos de dos décadas, gran parte del campo dunar relicto ha sido arrasado para un aparcamiento sin tomar medidas en cuanto a preservación del cordón dunar externo ni en los accesos a la playa.

Tanto el puerto como estas playas y dunas se encuentran en las márgenes de la bahía arenosa del estuario. Los dragados del canal secundario y paso de desembocadura del estuario son frecuentes para facilitar la navegación al puerto pesquero (Flor-Blanco *et al.*, 2015a). Parte de las arenas dragadas se han transferido a la playa y duna estuarina de El Tostadero, en fase de retroceso, y para crear una nueva playa estuarina de La Maza o Los Vagos, muy reducida (al E del puente), próxima a la anterior (Flor-Blanco *et al.*, 2015b).

Las dunas de la playa expuesta, ambas pertenecientes a la barrera confinante del estuario, han sido sustancialmente degradadas, aunque existen buenas perspectivas de recuperación. En primer lugar, eliminando el amplio aparcamiento en la franja próxima a la playa y trasladándolo hacia porciones más internas. Por otra parte, delimitando una banda suficientemente amplia en contacto con la playa para que se desarrolle una duna activa.

5.2. Dunas de Luaña

Este conjunto de playa y dunas de Luaña (Fig. 1, occidente de Cantabria) ocupa la desembocadura del arroyo de la Conchuga, adquiriendo una planta triangular abierta hacia el mar. Se formaron dunas tabulares en una superficie de 1,64 ha sobre las que se construyó un camping y un aparcamiento irregular en el periodo 1975-1988; contiene un cordón dunar en el contacto con la playa de escala decimétrica a casi métrica en altura y anchuras muy variables, desde unos pocos metros en el extremo oriental hasta algo más de una decena en el costado occidental. La totalidad de la duna restaurada y consolidada en la franja limitante con la playa asciende a 5620 m².

A finales de los noventa, se efectuó una actuación menor dentro del tercio exterior del sistema dunar, eliminando el camping, reservando áreas recreativas y un acceso peatonal que salva el arroyo. Se colocaron captadores con implantación de barrón, aislándose el recinto dunar mediante cordadas y estacas, mientras que los dos tercios internos se dedicaron a aparcamiento (<https://www.youtube.com/watch?v=6luktpRP9G4>).

5.3. Playa y dunas de Cuchía (Suances)

En la margen derecha u oriental de la desembocadura del río Besaya, formando parte de su estuario de San Martín de la Arena (Fig. 1), se ha generado la pequeña playa de Cuchía o Marzán (Fig. 9). Esta, a su vez, cierra una extensa vallonada de dirección O-E que albergó uno de los conjuntos dunares más interesantes de Cantabria: las dunas longitudinales de Cuchía (Flor, 1980).

La evolución del campo dunar de Cuchía o Marzán ha sido especialmente traumática, ya que fueron totalmente destruidas las dunas longitudinales mencionadas, cuyas arenas fueron beneficiadas para áridos. Así, en 1956 se conservaba algo más de la mitad de la superficie dunar, del orden de 381 362 m² (56,62 %), del campo original. Diecinueve años después, se produjo el cambio más radical por cuanto supuso la destrucción de la casi totalidad, junto con la posterior ocupación. Ya a finales de la década de los ochenta, debido a la entrada en vigor de la Ley de Costas de 1988, se detuvieron las sacas de arena, rellenándose parte de las zonas de extracción de arena, de modo que estas han ido aumentando progresivamente, sirviendo para la instalación de infraestructuras, equipamientos y urbanizaciones.

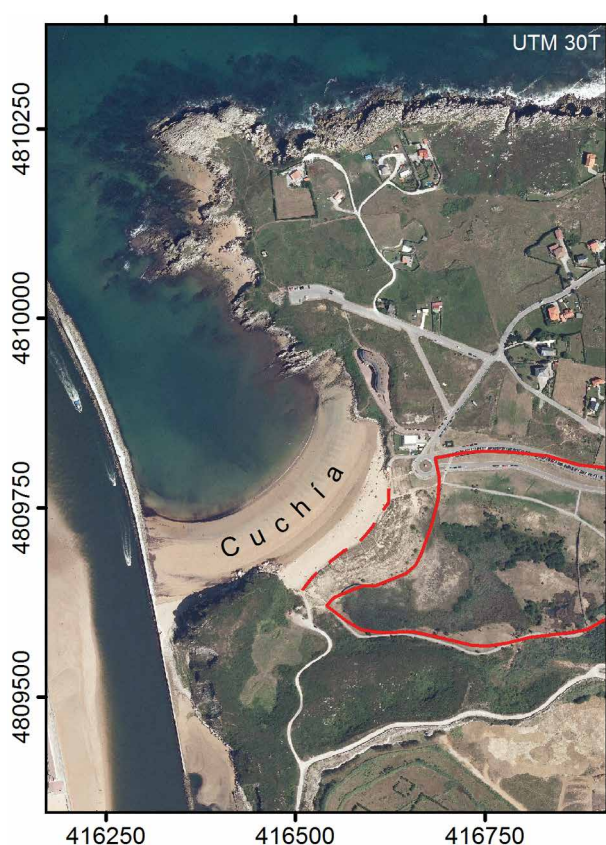


Figura 9. Ortofoto del campo dunar de Cuchía. En rojo discontinuo, el campo dunar actual y, dentro del recinto marcado por la línea continua, parte del antiguo ya modificado.

A partir de este siglo xxi, se tomaron medidas de recuperación dunar sobre solamente una superficie del 1,50 % de campo original, mientras que el 36 % de dunas antropizadas, correspondiente a las áreas de extracción, ha quedado abandonada y con vegetación invasora (Martínez Cedrún, 2008). Las prácticas de regeneración, que han conseguido consolidar el campo dunar existente, consistieron en la reproducción de una geometría de cordón dunar en contacto con la playa, mejor desarrollada hacia la parte interior de esta franja dunar intervenida. Se formaron dunas del tipo piramidal muy laxas, como resultado de la captación de arena por parte de *Ammophila arenaria* var. *australis* (barrón). Hacia el interior, el campo dunar interno está constituido por dunas de difícil asignación geométrica al estar muy alteradas (Flor *et al.*, 2011). Complementariamente, se le ha dotado de una serie de infraestructuras para permitir el acceso a la playa, entre las que destacan los viales ubicados en la parte septentrional.

5.4. Dunas de Liencres

Este extenso conjunto dunar, que forma parte de la barrera confinante del estuario del Pas (Figs. 1, costa central de Cantabria, y 10), ha sido declarado Parque Natural de las Dunas de Liencres (Piélagos) por Decreto 101/1986, de 9 de diciembre, LIC de las Dunas de Liencres y Punto de Interés Geológico (PIG) en el inventario nacional del Instituto Geológico y Minero de España por su importante valor geomorfológico.

En los años cincuenta se llevó a cabo una repoblación de pinos sobre la franja interna, donde el transporte eólico era activo, particularmente en las dunas remontantes, y sobre las dunas traseras parabólicas (Martínez Cedrún y Flor, 2008; Arteaga *et al.*, 2008).

Hasta mediados de los setenta, fue objeto de sacas de arena y de la construcción de un aparcamiento desproporcionadamente extenso de 2,72 ha, que se mantiene en la actualidad (Fig. 10). En 1996, la Demarcación de Costas de Cantabria acometió la restauración con dos tipos de actuaciones: obras de estabilización, que incluían la instalación de dos tipos de captadores de arena: 1) estructurales de mimbre seco para las zonas sin vegetación y el cordón dunar prácticamente inexistente, y 2) de apoyo a las plantaciones con algo de vegetación, donde el cordón dunar mantenía todavía su estructura. Se uniformizaron las topografías degradadas y se regularizaron las morfologías dunares.

Se regeneró la cubierta vegetal con barrón y, en mucha menor proporción, con *Elymus farctus* (grama del norte), sobre los frentes dunares sin vegetación, así como en las dunas parabólicas y lingüiformes, estas últimas desarrolladas sobre las depresiones dejadas por las sacas de arena. En 2004, se plantaron 88 000 plantas de barrón y 1500 m de nuevos captadores de arena, y para paliar los desperfectos durante el verano se introdujeron 35 200 plantas en las zonas afectadas con alta y baja densidad (8 plantas/m² y 3 plantas/m²), respectivamente.



Figura 10. Vista aérea oblicua (Servicio Cartográfico de Cantabria) de la playa de Valdearenas y del campo dunar asociado de Liencres, uno de los más extensos del litoral cantábrico. La playa expuesta forma parte de la flecha arenosa, culminada con dunas embrionarias, que confina al estuario del Pas (al fondo).

Se tendieron tres pasarelas de madera tratada en cuyos costados se elevó un cerramiento rústico continuo en todo el cordón dunar con postes de 1,50 m de altura y malla metálica de tipo progresivo para impedir el paso a las dunas vegetadas. Finalmente, se colocaron diferentes carteles informativos. En la actualidad, varias empalizadas y pasarelas han sido cubiertas por mantos arenosos, lo que es indicativo del funcionamiento activo de este complejo dunar por cuanto recibe volúmenes arenosos adicionales procedentes de la erosión del campo dunar interno ante el proceso de vaciante del canal principal estuarino.

5.5. Dunas de El Puntal de Somo-Loredo y entorno de Santander

Se trata de uno de los conjuntos de playa y dunas más espectaculares del Cantábrico, en cuya margen oriental de la bocana estuarina se desarrolla una flecha arenosa que sirve de barrera confinante al estuario de Santander (Fig. 1). Se compone de varios campos dunares en toda su extensión que, en el caso de la espiga, la formación de los cordones dunares y las cubetas de deflación, se relacionan con la acción de vientos opuestos del NO y SO. Además, esta estructura está surcada por numerosos pasillos de erosión por tormentas de ola, lóbulos y abanicos de tormenta desde la playa expuesta a la estuarina. La mitad oriental está mejor representada por dunas remontantes (Martínez Cedrún, 2008).

La flecha de Somo-El Puntal fue declarada (Decreto 4/2006, de 19 de mayo) espacio protegido LIC 1300005 Dunas de El Puntal y Estuario del Miera, que incluye los islotes de Mogro y Santa Marina o Jorganes. Ocupa una superficie de 675 ha, de las que 417 ha se corresponden con masas de agua.

Los dragados intensivos en el canal de entrada del puerto de Santander han provocado el estrechamiento de la barra y la orientación de su ápice hacia el SO en su constante crecimiento hacia la bocana (Fig. 11), habiendo una disminución desde 1956 hasta 2014 de la superficie total de la flecha arenosa de 536942 m² (Borguero, 2015).

En 1993, la Demarcación de Costas de Cantabria efectuó las obras de regeneración del cordón dunar de El Puntal de Somo, que consistieron, esencialmente, en la aportación de 230 000 m³ de arena, la colocación de barreras de captadores de arena, la plantación de especies dunares para tratar de fijar las dunas, el cercado de todo el contorno con valla rústica de madera y la colocación de 14 pasarelas de madera para encauzar el tránsito peatonal entre las dos playas que bordean El Puntal (la estuarina y la expuesta) y evitar que se produjeran daños en las obras y plantaciones realizadas. Para recrecer las dunas en la parte meridional de El Puntal de Somo, se transportaron unos 25 000 m³ de arenas procedentes del dragado del

estuario y que también se vertieron en la playa de El Rostro (Pedreña).

Hacia el costado oriental, en la localidad de Loredo se llevaron a cabo sacas de arena iniciadas en 1979 sobre una superficie de unas 4,5 ha hasta la suspensión definitiva en 1982. Posteriormente, en 1990, en una parte se desarrolló un vivero de plantas de dunas y se extendió una pasarela, elevada sobre la playa, con algún mirador para dar paso a promocionar este entorno como Duna Didáctica.

Durante el otoño-invierno de 1995 y la primavera de 1996, se repobló la zona oriental de El Puntal de Somo con



Figura 11. Evolución histórica de El Puntal de Somo desde 1956 hasta 2010, siguiendo los contornos de la parte alta intermareal y teniendo como referencia la planta de la flecha arenosa en cada fotograma.

vegetación dunar. Se plantaron más de 100 000 ejemplares, mayoritariamente barrón y grama del norte. En 1997, se repobló con 27 000 plantas nuevas en recintos cerrados de las zonas plantadas para evitar la degradación ante la presión turística que soporta esta playa. Se extendieron 1550 m de malla cinegética de 1,5 m de altura y se colocaron 20 carteles indicativos para informar a la población y sensibilizar a los usuarios de la importancia que tiene respetar estas actuaciones.

En la localidad de Somo, la permisividad administrativa permitió la construcción de un bloque de 18 chalets adosados muy próximos a la playa, cuyos frentes (terrazas y escaleras) fueron desmantelados en 2014 por el temporal. Se construyó una defensa blanda consistente en una barrera arenosa de 4-5 m de altura y 20 m de anchura, que se redujo a la mitad en los temporales de primeros de 2015 (Fig. 12A). Además se generaron escarpes erosivos a lo largo de multitud de segmentos en todo el frente expuesto de la playa de El Puntal de Somo, pero también emplazamientos de mantos arenosos de desbordamiento (Fig. 12B), reapertura de pasillos de erosión y formación de lóbulos distales (*washover fans*) sobre la playa estuarina.



Figura 12. A) Restos de la barra artificial arenosa construida como parapeto de la urbanización en las dunas de Somo, cuyo frente fue erosionado, dejando un escarpe subvertical, y se redujo su anchura. B) Escarpes erosivos generalizados y mantos arenosos de desbordamiento sobre la duna culminante de la flecha arenosa de El Puntal de Somo.

Consecuencia de los dragados para la ampliación del puerto de Santander desde 1969, se produjo la pérdida de arena en todo el conjunto de las playas de Los Peligros, La Magdalena y Bikinis (Santander), hasta más de 1 m en la vertical. En 1970, la draga repuso un importante volumen de arenas en La Magdalena, y en 1973 se inició el vertido con arenas de El Puntal de Somo con la intención de consolidar dicha playa, que, con un total de 80 000 m³, siguió dos años después, consiguiendo estabilizarla durante los veranos, práctica continuada durante los años ochenta (GIOG, 2007). Los sucesivos rellenos arenosos han propiciado la formación, de manera discontinua, de acumulaciones eólicas como mantos dunares y dunas remontantes en las traseras de las tres playas mencionadas que se mantienen regularmente.

A finales de los años noventa, se dragaron arenas en el frente sumergido por un buque de succión y se vertieron sobre la superficie intermareal. Puntualmente, en la trasera de la playa de Bikinis tuvieron lugar invasiones arenosas por el viento que cubrieron la carretera de acceso al Palacio de La Magdalena y laderas próximas, también como dunas remontantes. El elevado coste de esta técnica fue sustituido por el trasvase de arenas, en camiones, desde el entorno occidental, con un volumen en los últimos años de 25 000 a 30 000 m³ al año (en 2013, hasta 43 000 m³).

5.6. Dunas de la Canal de Galizano

Este entorno del estuario de Galizano o de la Canal está protegido al formar parte del Lugar de Importancia Comunitaria de la Costa Central y Ría de Ajo (ES1300006), según la Ley de Cantabria 4/2006, de 19 de mayo, de Conservación de la Naturaleza. Está conformado por un pequeño estuario de planta sinuosa, que está situado en la costa centro-oriental de Cantabria (Fig. 1) y es drenado por el arroyo de La Colina, en cuya cola se desarrollan parches de vegetación de marismas. Constituye una singularidad por su alta proporción de relleno arenoso y su confinamiento incompleto a cargo de la terraza de bajamar de la playa expuesta.

En la ensenada externa de la playa, un conjunto dunar occidental tiene 90 m de longitud y una anchura media de 38 m, abarcando una superficie de 3033 m². En la margen oriental externa se formaron dunas remontantes por vientos del NO que se adosan al acantilado subvertical, abarcando una superficie de unos 278 m². Un parche dunar más extenso está adosado a la margen interna occidental sobre una longitud de 180 m, con una anchura variable de 48 m en la parte frontal y 21 m en el borde más meridional, siendo la superficie total de 3442 m²; contiene un cordón dunar alargado en dirección NNO-SSE, constituyendo una barrera interna de 9 m de anchura que prograda hacia el canal, donde alcanza los 14 m.

En los años setenta redujo su campo dunar estuarino externo en beneficio de un estacionamiento de vehículos, además del perjuicio que ocasiona el tránsito peatonal y el pisoteo, hecho que continuó en las décadas siguientes.

La recuperación de las zonas degradadas se definió mediante el proyecto «Acondicionamiento y ordenación del sistema playa-ría de Galizano», que se ejecutó en el año 2004 e interesó una superficie de actuación de unos 2800 m², incluyendo la restauración de la playa y la regeneración dunar en cinco actuaciones (Fig. 13):

- Instalación de 3 filas de captadores en empalizada de 70 m de longitud.
- Plantación de 10 000 barrones de *Ammophila arenaria* var. *australis*.
- Un cercado rústico bordeando las zonas plantadas con una puerta de servicio para permitir el acceso al interior. La longitud total del cercado fue de 250 m.
- Colocación de 6 carteles informativos sobre la importancia que tiene el respeto a la plantación para el éxito de la actuación.
- Instalación de una pasarela peatonal de madera sobre las dunas, elevada 1 m por encima del nivel del terreno y con las correspondientes escaleras de acceso, que bordeaba el límite de la playa paralelamente al paseo peatonal con una longitud de 270 m y anchura de 2,5 m.



Figura 13. Vista aérea oblicua desde la cola del estuario de la Canal de Galizano, donde se evidencia el alto contenido arenoso y los campos dunares estuarinos. El situado a la entrada del camino, que muestra un cordón dunar vegetado, fue objeto de las restauraciones detalladas en el texto.

El proyecto incluía también un aparcamiento de temporada en la parte superior del acantilado con una superficie de 3500 m², capaz para 150 automóviles. Por otro lado, el acantilado que bordea la playa de Galizano tiene desniveles subverticales de entre 25 y 30 m para los que se contemplaron medidas relativas al saneamiento, la estabilización del talud y la protección contra desprendimientos por medio de las siguientes actuaciones:

- Malla provisional de tela metálica en todo el borde del acantilado.
- Eliminación de inestabilidades y retirada de bloques inestables.
- Protección de toda la longitud del talud mediante una barrera contra desprendimientos de 2 m de altura.

5.7. Dunas de El Puntal-La Salvé de Laredo

Este amplio y alargado conjunto dunar del oriente de Cantabria (Fig. 1) adquiere una geometría triangular en planta con un arqueamiento más extenso hacia la villa de Laredo (Fig. 14), con una superficie total de 267,15 ha. Las dunas forman parte de la culminación de la barrera confinante del estuario del Asón, probablemente formadas por la progradación de S a N en tiempos relativamente rápidos, como revela el hecho de adquirir geometrías dunares de escala métrica lo mismo que las producidas por alargamientos de diques, antes mencionados.

El retroceso del perfil de El Puntal de Laredo (extremo septentrional), donde se instala el paso de desembocadura estuarina, es más acentuado en el costado oriental y en su ápice, y se manifiesta intensamente desde hace al menos dos décadas, mientras que es notoria la acumulación excedentaria en el área de La Salvé cercana a la villa de Laredo, consecuencia de la deriva persistente de playa, parte de la cual fue eliminada mediante medios mecánicos.

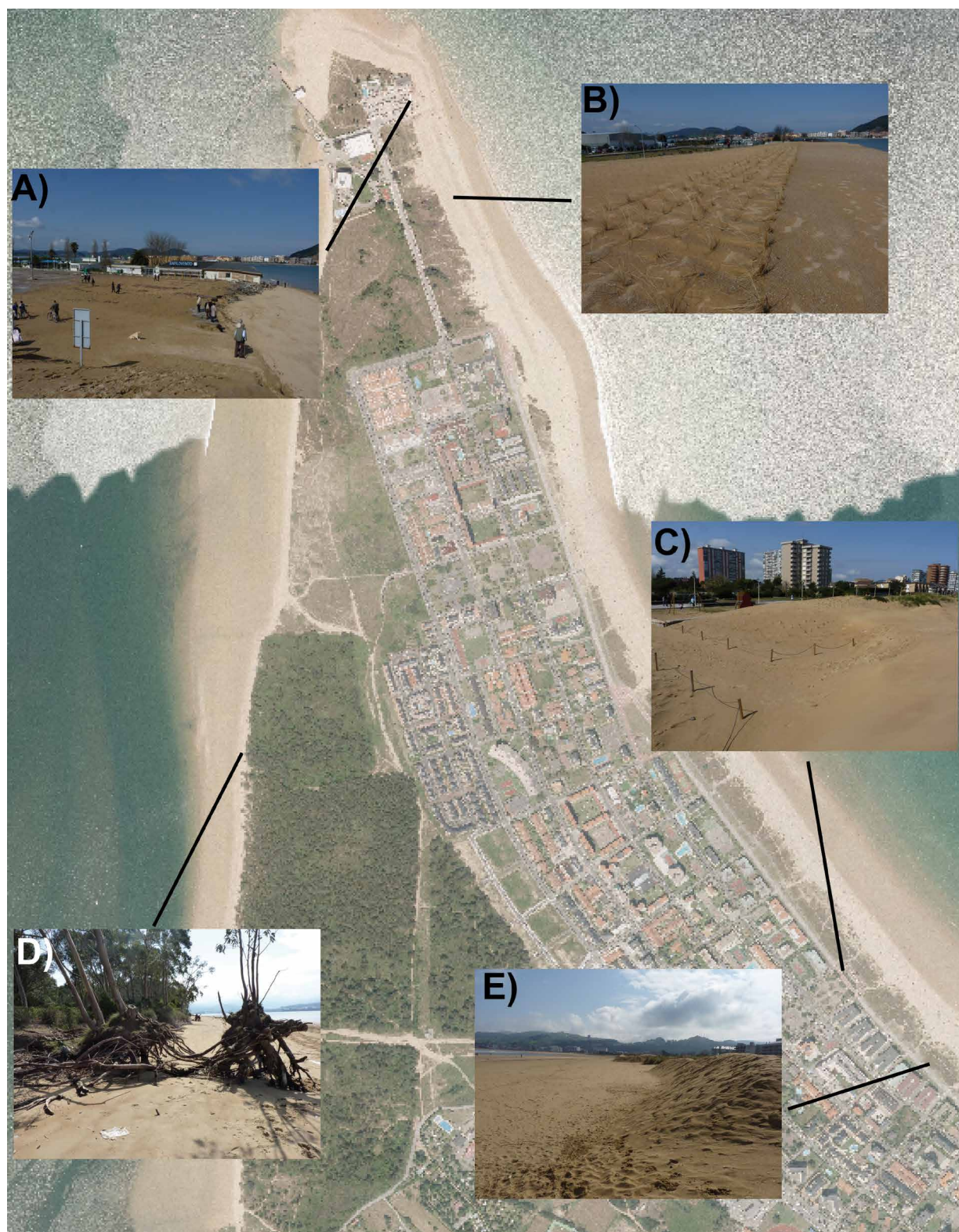


Figura 14. Instantánea del campo dunar de Laredo (ortofoto de 2014. Gobierno de Cantabria-PENOA), ampliamente ocupado por edificaciones en el costado de la playa de La Salvé y con plantaciones de eucaliptos en su playa estuarina de El Regatón, con un trazado subrectilíneo. Tras los temporales de invierno de 2014 (A), se acumularon arenas a modo de una barrera con taludes de hasta 7 m de altura en cuya culminación dunar se plantó vegetación de barrón (B) y se acordonaron (C). El ápice y la margen occidental de El Regatón también quedaron muy afectados, aunque ya estaban en recesión (D). En las proximidades de la villa de Laredo se elevaron barreras arenosas de defensa de menor magnitud (E).

A partir de 2007, comenzó el deterioro mayor y continuado de El Puntal de Laredo, aunque entre 2012 y 2014 (Fig. 14A), los retrocesos fueron particularmente intensos, obligando a la Demarcación de Costas de Cantabria a colocar, primero, algunos tramos de escollera de bloques y, en los primeros días del verano de 2014, a construir lo que se denominó como *la gran duna artificial* (Fig. 14B y C), en la que se emplearon más de 250 000 m³ de arena con un valor de 1,9 millones de euros. Las arenas se succionaron con una draga desde la barra de desembocadura activa y se bombearon a la playa para ser redistribuidas con palas al objeto de crear un prisma arenoso con sección troncopiramidal de algo menos de 1 km de longitud; la altura llegó a los 7 m, mientras que las anchuras son variables con máximos de 20 m; en su culminación plana se enraizaron 200 000 plantas de barrón a lo largo de este prisma, pero ante la erosión posterior muchas quedaron sin plantar (vídeo: <http://www.eldiariomontanes.es/castro-oriental/201410/10/duna-solo-dias-20141010111718.html>). Estas defensas sirvieron escasamente ante lo que se consideraba como una medida de protección muy costosa, pero nunca como una solución definitiva. También la franja dunar limitante con la playa estuarina de EL Regatón experimenta retrocesos desde los años noventa, como lo demuestra la presencia de eucaliptos, ahora sobre la franja intermareal (Fig. 14D), con una supervivencia precaria. En el invierno de 2014, coincidiendo con pleamares vivas, buena parte de esta estructura arenosa experimentó una erosión reseñable.

En el segmento meridional de La Salvé, a finales de marzo, se protegieron los accesos naturales del arenal mediante la construcción de una nueva duna artificial de 1,5 m de altura y una anchura de 5 m (Fig. 14E), respetando las dunas existentes y su vegetación, con la previsión de reponerlas a su estado natural cuando finalizara la época de temporales.

Por otro lado, desde el Gobierno de Cantabria y la Demarcación de Costas, se han impulsado varias campañas, iniciadas en 2009, para la eliminación de plantas invasoras en numerosos campos dunares de Cantabria y, de forma particular, en El Puntal.

6. Ejemplos en el País Vasco

Como se ha mencionado en párrafos precedentes, algunas playas de esta costa vasca migraron hacia el mar como resultado del alargamiento de los diques sobre el paso de desembocadura de los estuarios correspondientes. También en la margen oriental de la desembocadura del río Ibaia en Ondarroa se construyó un dique alargado en cuya margen E, la playa de Saturrarán ha migrado hacia el mar. La desembocadura del río Bidasoa (estuario de Txingudi) fue profundamente transformada por la extensión de diques en ambos márgenes, de modo que la playa actual de Hondarribia, junto con la de Hendaya en su extremo occidental, donde se ha desarrollado un campo dunar inducido, son de nueva construcción, situándose la primera a unos 2 km de la antigua natural. La mayor parte de los campos dunares asociados se conservan como testimonios de su dimensión original o han desaparecido totalmente por la acción antrópica.

Las dos zonas con restos de dunas de mayor interés ambiental en Euskadi tienen extensiones reducidas y están sometidas a una presión humana intensa. En Vizcaya, las de La Arena, Gorliz y Laga; y en Guipúzcoa, sobre todo en Zarautz y Zumaia. Playas como Azkorri (se valló por las dunas), Barinatxe, Bakio, Santiago y Deba contienen vestigios de lo que fueron en su día campos dunares más extensos; también la playa de la Zurriola (San Sebastián), en cuya trasera (barrio de Gros) se desarrollaron campos dunares.

6.1. Playa y dunas de La Arena (Muskiz-Zierbena)

Este conjunto de la playa-dunas de La Arena, forma parte de la barrera confinante del estuario del Barbadún (Fig. 1, extremo occidental del País Vasco) y están catalogados como LIG 94, estando las dunas incluidas como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) Rías de Barbadún Red Natura 2000 (Código ES2130003). Sus marismas fueron extraordinariamente degradadas por la ubicación, en los años setenta, de la refinería de Petronor en Somorrostro (Cearreta *et al.*, 2008). A lo largo de las últimas décadas, se han dedicado muchos esfuerzos a regenerar diferentes espacios; así, unos 170 000 m² de marismas se recuperaron después de eliminar los grandes tanques de combustible, dejando un área de transición de 20 000 m² para revegetar dunas. Las arenas de este conjunto toman tonos marrones debido a la introducción de los estériles de mineral de hierro explotado en las minas de Somorrostro, Ortuella y San Salvador del Valle desde el siglo XVI hasta principios del siglo XX.

En los años ochenta, el extremo oriental de la playa recibía materiales de cantos y, fundamentalmente, gravas por el desmantelamiento del talud de relleno de la carretera de acceso al superpuerto de Bilbao según un oleaje con ángulos medios de 20°, transformándolo en un segmento reflejante con mayor energía que el resto de la playa arenosa (Losada *et al.*, 1987). Se retiraron grandes cantidades de material, pero todavía en pleno 2015 se siguen recibiendo aportes de estas fracciones. Además, se extendieron viales de acceso y se construyó un amplio aparcamiento en el área central de la playa sobre el espacio dunar en pleno Dominio Público Marítimo-Terrestre. Por contra, la recuperación de este campo dunar seminatural, que se extendía sobre 10,4 ha, comenzó a materializarse desde los años ochenta y noventa del siglo pasado, con la colocación de captadores de madera que permitieran la acumulación de arena procedente de la playa.

En 2008, la Fundación Lurgaia comenzó el proyecto de protección para las dunas de La Arena o Muskiz, consistente en: 1) colocación de vallados de exclusión en las áreas más sensibles e importantes al tránsito humano; 2) eliminación de algunas de las especies exóticas invasoras más peligrosas, como *Oenothera* spp. y *Carpobrotus edulis*. Y como complemento, en 2009 operó otro proyecto para conservar la única población de la especie *Ononis natrix* spp. *ramosissima* en el País Vasco.

Se ha fomentado la participación de la sociedad en la conservación de las especies por medio del voluntariado ambiental, de modo que han sido muchas personas las que han participado de manera altruista. También se ha llevado a cabo un mantenimiento continuo del vallado de manera quincenal en relación con la caída de estacas, reposición de cuerdas y colocación de nuevos carteles informativos.

Los temporales del invierno de 2014 erosionaron gran parte del campo dunar, lo que plantea numerosos interrogantes de cara al futuro, a pesar de los apoyos por parte de los ayuntamientos.

6.2. Playa y dunas de Laida (estuario de Oka. Reserva de la Biosfera de Urdaibai)

El estuario de Guernica u Oka y alrededores (Fig. 1, occidente del País Vasco) ha sido incluido dentro de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, que fue declarada mediante Ley 5/1989, de 6 de julio, de Protección y Ordenación de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. Dispone asimismo de

un Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, aprobado con fecha 3 de agosto de 1993 en desarrollo de la citada ley. El estuario, junto con las dunas de Laida, está incluido en el LIC Zonas Litorales y Marismas de Urdaibai (ES2130007) y en la ZEPA Ría de Urdaibai (ES0000144).

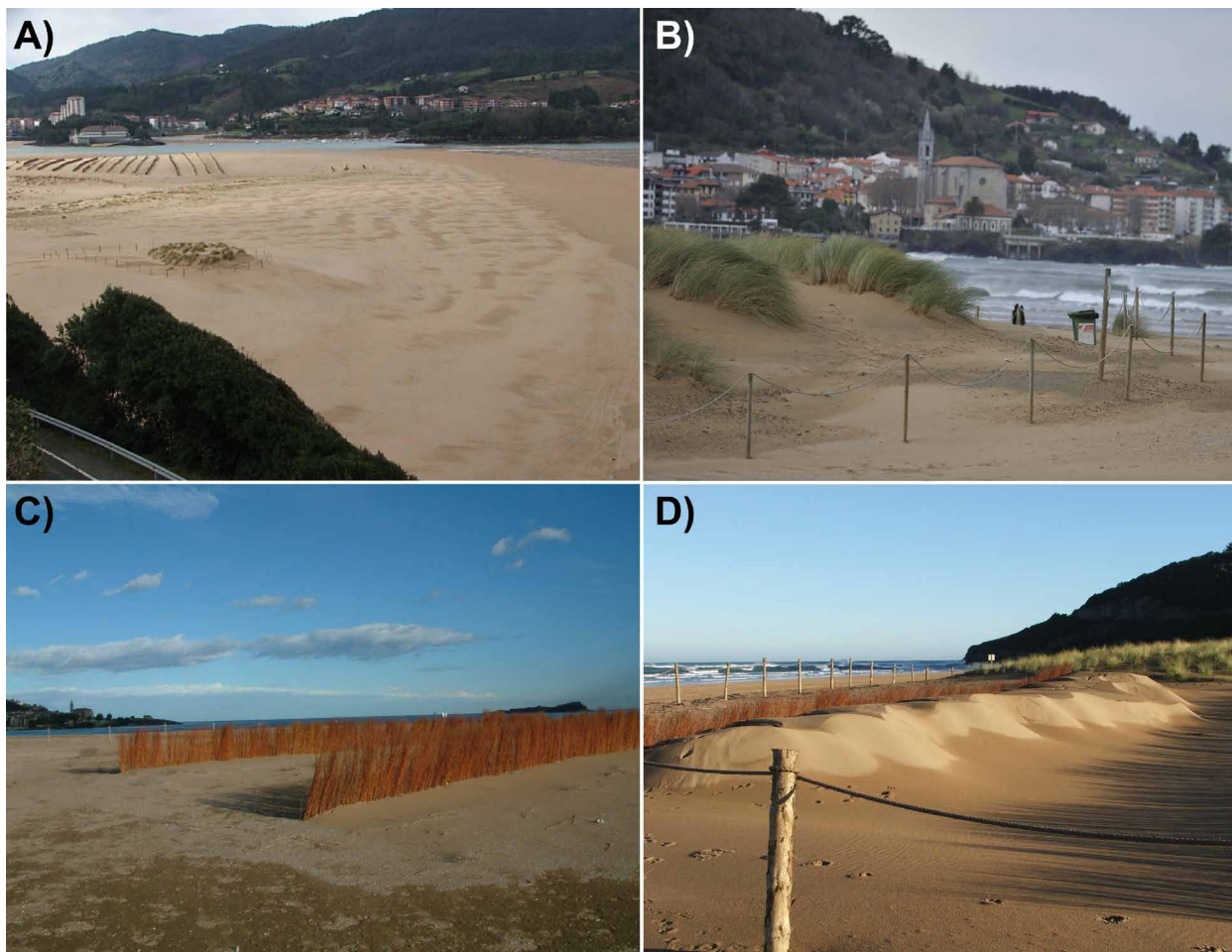


Figura 15. Actuaciones en la playa expuesta de Laida, que forma parte de la barrera estuarina de Oka. A) Hileras de plantaciones de *Ammophila arenaria*. B) Acordonamiento en las dunas vegetadas. C) Empalizadas para la retención del sedimento eólico. D) Captadores y acumulaciones de arena deflacionada en un recinto acordonado. Imágenes cedidas por: HAREA Coastal Geology Group (UPV/EHU)-Grupo de Geología Litoral HAREA (UPV/EHU).

Los dragados sobre el canal principal del estuario para facilitar la navegación hasta el astillero de Murueta han resultado nefastos para el mantenimiento del equilibrio sedimentario (Monge-Ganuzas *et al.*, 2013). Las arenas se bascularon fuera del sistema activo de la playa o en áreas internas del estuario inferior, donde en 1994 se formaron las playas estuarinas de Kanal y Sukarrieta, colonizándose con vegetación dunar. Se practicaron sacas de arena para la reconstrucción de la villa de Guernica. En las últimas décadas, tuvieron lugar transferencias arenosas por funcionamientos de abanicos de tormenta en temporales hacia el interior de la barrera confinante. Todo ello ha contribuido a la disminución del prisma arenoso estuarino (Flor y Flor-Blanco, 2006), de modo que la barrera pierde altura y migra aguas arriba y las intrusiones por temporal se hacen cada vez más intensas.

El ecosistema dunar de la playa de Laida en Urdaibai (LIFE/NATURE/000031/ES) fue degradándose de manera particular a partir de los años sesenta por el pisoteo, la extracción de arenas, etc. Estas dunas ocupaban una extensión de 13,3 ha que fueron sometidas a regeneración sobre una superficie de solamente 6 ha, para añadir a la anterior. Corresponden al 50 % a los hábitats de dunas móviles con vegetación embrionaria (código 2110) y con barrón (código 2120).

A partir de 1999 se planteó la mejora de las dunas que, desde 2001 a 2004, se materializó en un proyecto de regeneración dunar, y posteriormente, entre 2004 y 2007, en un proyecto LIFE (Fig. 15 A-D), concretamente para regenerar el ecosistema dunar en la playa de Laida (LIFE04NAT/E/000031).

En el primer intervalo, de 2001 a 2004, se vertieron arenas de dragado sobre la superficie culminante de la barrera estuarina, donde se colocaron captadores de varas de mimbre en una longitud de 2500 m y se inició la plantación de *Ammophila arenaria* (Monge-Ganuzas *et al.*, 2003). Posteriormente, se repitió este proceso a lo largo de 2004 y 2005, siguiendo líneas paralelas sobre tres áreas de superficie rectangular con cierre perimetral de cuerdas y postes, cercanas a la localidad de Laida (margen derecha), que totalizaron una superficie intervenida de 60 000 m².

En 2004, se fijaron 205 000 plantas de barrón y 45 000 de *Elymus farctus* y, en el año siguiente, otros 250 000 barrones. Se colocaron paneles informativos, principalmente en los accesos al campo dunar, y se editaron un folleto y un tríptico, así como material educativo y de divulgación ambiental (http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-6172/es/contenidos/memoria/actividades_life_laida/es_memoria/adjuntos/2004_2005.pdf).

Cabe destacar los 240 000 m³ vertidos desde el canal del estuario hacia la barrera de cierre durante la primavera de 2003, lo que, según estudios posteriores (Monge-Ganuzas *et al.*, 2008), provocó una variación del canal en la desembocadura y también del rompiente de ola, causando problemas de gestión y turísticos importantes, al tener que cancelar el campeonato mundial de surf de 2005. La situación se restableció de forma natural 3 años después del dragado y posterior vertido.

Los resultados geomorfológicos (Iriarte *et al.*, 2004) y sedimentológicos (Ikerketa Taldea *et al.*, 2004) de la intervención se publicaron, teniendo en cuenta el factor dinámico de los vientos actuantes y la interacción con el transporte arenoso, el crecimiento de la duna, así como el reconocimiento de las estructuras sedimentarias, incluidas las internas. Se comprobó que durante el primer año se acumularon arenas eólicas con un volumen de 3708 m³, en el segundo 3500 m³ y en el tercero 2056 m³ (Gearreta *et al.*, 2007).

Desde 2007, el conjunto de la bocana del estuario comenzó a erosionarse intensamente donde la playa supramareal ha perdido unos 40 000 m², quedando reducida a 20 000 m². Un fuerte retroceso tuvo lugar por los últimos grandes temporales del invierno de 2014 que han actuado como una puntilla sobre la franja dunar residual, en que las dunas intervenidas en los proyectos detallados quedaron totalmente arrasadas.

6.3. Playa y dunas de Laga

Esta playa expuesta entre promontorios, situada justo al E del estuario de Oka (Fig. 1), pertenece a la Reserva de la Biosfera de Urdaibai sobre la cual se ha procedido a recuperar sus dunas asociadas,

eliminado la presión turística y los equipamientos de servicios anteriormente ubicados en esta superficie. También se incluye como Lugar de Interés Geológico (LIG 92 Playa y dunas de Laga) sobre el que se han propuesto medidas de geoconservación (Mendia *et al.*, 2011).

Desde el año 2000 se inició la recuperación de las dunas, tendiendo un perímetro de protección con 200 postes de pino tratado y 1000 cuerdas de nylon para estabilizar las dunas embrionarias que más sufrían la presión turística; se insertaron captadores de mimbre para retener la arena eólica, y se plantaron varios miles de plantas de barrón. Se instalaron paneles interpretativos con un formato de 68 x 96 cm en lugares estratégicos y se editó un tríptico interpretativo, describiendo la riqueza faunística y botánica del entorno.

6.4. Playa y dunas de Plentzia-Gorliz

Están sometidas al Plan Especial de Protección y Conservación de la Playa de Gorliz en la localidad de Plentzia (Fig. 1). En este entorno oriental se conservan unas eolianitas con icnitas de cuadrúpedos (Flor, 1989), datadas en 5710 ± 50 y 6020 ± 50 años BP (Cearreta *et al.*, 1990), que han sido protegidas como LIG 91 (Dunas Fósiles de Astondo) y dentro de la Red Natura 2000 como LIC (ES2130004), así como bajo la figura autonómica ZEC (Zona de Especial Conservación) Astondoko haremunak/Dunas de Astondo, propiedad de la Diputación Foral de Vizcaya.

El perfil longitudinal de la playa tenía una traza original subrectilínea más o menos coincidente con la carretera. Hacia 1928, como resultado de la primera fase de construcción del dique de abrigo y encauzamiento sobre el estuario del Butrón, las arenas de la playa avanzaron y siguieron haciéndolo en las sucesivas obras de alargamiento en 1956 y 1973. Consecuentemente, las arenas se desplazaron lateralmente por las corrientes de deriva y se acumularon en sus extremos (Hernández-Pacheco y Asensio Amor, 1967). Las arenas procedían del centro de la playa, lo que requirió construir unas defensas en este segmento para evitar una erosión de la carretera. La playa adquirió una curvatura fuerte en planta con la concavidad hacia el mar en lo que constituye una forma muy estable, lugar donde se desarrollaron dunas bajas, que desaparecieron.

Para incrementar la superficie de playa seca se retranqueó la carretera hacia tierra, que en la zona N fue de 35 m, y el muro del hospital de 14 m. En el área de influencia de la desembocadura del regato de Txatxarros, con una cuenca de 2,3 km², el retranqueo medio fue de 135 m, derribando el muro existente. Se eliminó la fábrica de escabechados con una superficie de 1600 m² y se creó una superficie dunar de 1,25 ha con plantaciones de barrón detrás de la playa supramareal.

Además de una regeneración después de los temporales de 2014, se sugiere acortar el dique occidental de la playa sobre la margen del estuario con el objeto de que el oleaje disminuya la curvatura y la línea de playa se aleje del talud de revestimiento en la zona central.

6.5. Dunas de Zarautz (Iñurritza)

En el área más oriental del País Vasco (Fig. 1), se formaron complejos dunares que se relacionan con el relleno del estuario del río costero Iñurritza, cuyo registro sedimentario fue estudiado por Edeso (1994), entre el que se encuentran arenas eólicas cementadas. La playa acumula mayor volumen arenoso en el

área oriental coincidiendo con el transporte de arena por la deriva de los oleajes incidentes del NO, lo que determinó la mayor sedimentación dunar en este costado.



Figura 16. Estado de las dunas de Zarautz una vez restaurados los desperfectos del temporal de 2014. En la zona supramareal ya se han instalado captadores y se colocaban pasarelas de madera tratada.

El sistema dunar está muy transformado y sometido a amenazas entre las que destacan la ocupación del amplio espacio de dunas fijas por el campo de golf (16,5 ha), la presión recreativa en verano y la existencia de especies invasoras. Está protegido por el Plan Especial del Biotopo Protegido (Decreto 40/1997, de 11/03/97) y LIC de Iñurritza, así como en el Documento de Medidas de Conservación de la Zona de Especial Conservación de Iñurritza. Casi el 80 % de las especies vegetales son psammófilas propias de la costa vasca, bien representadas las de dunas móviles y las dunas estabilizadas

Las dunas activas se restringen a un talud estrecho limitando la playa con el campo de golf, de modo que el frente dunar fue eliminado por las tormentas de 2014 (Fig. 16), ubicándose en éste el antiguo cordón dunar, para ser reconstruido el frente dunar erosionado. Precisamente esta amplia superficie podría ser recuperable en un futuro como entorno dunar.

7. Soluciones de futuro

La transición entre la playa superior y el campo dunar adyacente, que garantice la transferencia de arenas deflacionadas, se produce habitualmente a través de una superficie suave inclinada hacia el mar y la consiguiente disponibilidad de arena seca.

Asimismo, la colonización vegetal dispone del margen suficiente para establecer la zonación de las especies y su papel de fijación del sedimento arenoso. En estas condiciones, incluso en aquellas playas que pudieron haber contenido campos dunares en décadas previas es factible aplicar alguna de las técnicas mencionadas,

como la instalación de captadores, el aislamiento de recintos, la plantación de vegetación autóctona y la canalización de los usuarios a través de un escaso número de pasarelas de madera.

En el caso de las dunas que desarrollen taludes abruptos en contacto con la playa, representativas de etapas de retroceso intenso, se desaconseja cualquier intervención por los impactos visuales que pudieran derivarse, ya que requerirían actuaciones duras (sacas de contención, gaviones, etc.).

En estas provincias cantábricas, son relativamente escasos los campos dunares a preservar de forma inmediata y continuada, destacando los casos de Penarronda, Sarello, Navia, extremo oriental de Salinas-El Espartal, Rodiles, Vega, Merón (San Vicente de la Barquera), Luaña, La Concha de Suances, Liencres, Somo-Loredo, Ris y Trengandín (Noja), mitad suroriental de La Salvé (Laredo), Oriñón, La Arena (Muskiz-Zierbena), Laida y Laga.

Se detallan algunos casos de gestión de playas arenosas relacionadas con la formación de dunas por las Demarcaciones de Costas en el mar Cantábrico. La creación de la nueva playa de Poniente ha derivado en la construcción de espacios de dunas embrionarias en ambos costados. Se han construido espacios de dunas artificiales en Salinas-El Espartal mediante la elevación de una geometría laxa sobre la que se implantaron especies de barrón y se atravesaron con pasarelas de madera; la deriva persistente de arenas de la playa aporta volúmenes para que el frente dunar experimente una acreción y se formen dunas transgresivas de forma lobular de espesor decimétrico a métrico. Otra práctica menos repetida ha consistido en la uniformización del relieve dunar, donde previamente se habían efectuado sacas de arenas o implantado alguna construcción menor, como los casos de Penarronda, Salinas-El Espartal y Xagó.

La protección de dunas se ha realizado con vallados disuasorios, captadores, pasarelas y plantación de especies vegetales autóctonas en diferentes campos: Penarronda, Xagó, Rodiles, Luaña, Liencres, Somo, La Arena, Plentzia, Laida, Laga, etc. Pero han sido relativamente escasas, parciales y, en muchos casos, innecesarias (recubrimiento de los pasillos de erosión en El Puntal de Somo), mientras que se han ignorado otro tipo de enclaves de playas y dunas igualmente importantes, necesitados de algún tipo de mejora (Penarronda, Sarello, Otur, Vega, Rosal de San Vicente de la Barquera, Luaña, Tagle, La Concha de Suances, Usgo, Cuberris, Trengandín, Berria, La Salvé y Oriñón). Se debería llegar a acuerdos con las Demarcaciones de Costas para casos concretos de gran envergadura en que la nefasta gestión de dragados portuarios en estuarios está destruyendo sistemas de playas-dunas, como los de Salinas-El Espartal y Somo-Loredo; en este sentido, cabe permitir la colaboración con especialistas costeros cuya perspectiva es mucho más realista y documentada. Actuaciones negativas se han centrado en la construcción de la gran duna artificial de El Puntal de Laredo.

Se sugiere ampliar los espacios dunares protegidos a determinados enclaves, como los de Asturias: Salinas-El Espartal, cuya singularidad reside en los sucesivos cordones dunares (dunas paralelas), indicativos de un proceso de progradación y el lóbulo dunar remontante del campo interno de Xagó.

La singularidad del conjunto dunar de Sonabia (Flor, 1980; Flor y Martínez Cedrún, 1991; Martínez Cedrún, 2008, y Flor *et al.*, 2011) en que participan tipologías dunares mixtas debidas a la interferencia de dunas longitudinales y barjanas, induce que sean protegidas de acuerdo con alguna de las figuras del PORN existentes en la comunidad autónoma de Cantabria.

En el estuario de Oka, sería factible remover las arenas de Kanal y de Sukarrieta, así como los volúmenes de dragado de mantenimiento, para que se reciclen de forma natural para construir la barrera, incrementando el volumen disponible. Comoquiera que son arenas relativamente de mayores tamaños medios, la mejor opción sería ubicarlas sobre el frente somero sumergido de la playa dentro de los primeros 5 m de profundidad. De este modo, el oleaje seleccionará y distribuirá las fracciones arenosas hacia la playa emergida, contribuyendo a consolidar la barrera confinante. También se recomienda continuar con las experiencias de creación o regeneración de nuevas dunas.

Por tanto, se plantea hacer una gestión tutelada o asesorada por universidades o centros de investigación de cada región estudiada ya que se echa en falta la colaboración estrecha entre las distintas administraciones con competencias en el medio litoral y los distintos grupos expertos en la materia. Asimismo, se emplaza a estos organismos a preservar dichos hábitats según la Directiva 92/43 de la Unión Europea, tomando como guía el documento «Dunas Marítimas y Continentales» (Gracia *et al.*, 2009).

También se propone aunar esfuerzos y potenciar fondos que permitan el estudio a corto plazo de la mayor parte de los campos dunares que están sufriendo una erosión casi irreversible debido principalmente al ascenso del nivel del mar, ya que estos registros son una valiosa fuente de información sobre eventos y procesos ambientales durante el Holoceno.

Referencias

- Arenas Granados P. Gestión del litoral y política pública en España: un diagnóstico. In: Barragán JM, coordinator. Manejo costero integrado y política pública en Iberoamérica: un diagnóstico. Necesidad de Cambio. Red IBERMAR (CYTED); 2009. pp. 353-380.
- Arteaga C, Sanjosé JJ, Serrano E. Terrestrial photogrammetric techniques applied to the control of a parabolic dune in the Lienres dune system, Cantabria (Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*. 2008; 33: 2201-2210.
- Borghero, C. Study of morphological evolution of dune fields in Cantabria (N. Spain) during the Anthropocene. M.Sc. Thesis, University of Uppsala. 2015.
- Cearreta A, Monge-Ganuzas M, Iriarte E. Proyecto de regeneración dunar en Laida (Reserva de la Biosfera de Urdaibai): seguimiento y evaluación geológica. *FORUM de Sostenibilidad*. 2007; 1: 83-93.
- Cearreta A, Edeso JM, Merino A, Ugalde T, Ugarte FM. Las dunas litorales de Barrika (costa occidental de Bizkaia). *Kobie*. 1990;19: 77-83.
- Cearreta A, Alday M, Irabien MJ, Etxebarria N, Soto J. Modern conditions and recent environmental development of the Muskiz estuary: historical disturbance by the largest oil refinery of Spain. *Journal of Iberian Geology*. 2008;34: 191-213.
- Colmenar E. Salvar las dunas. *Ambienta*. 2001; 35-40.
- Cooper WS. Coastal sand dunes of Oregon and Washington. *The Geological Society of America. Memoir* 72. 1958; 169.
- Díaz González TE. Caracterización de los hábitats de interés comunitario (Red Natura 2000) existentes en el Principado de Asturias. I: hábitats litorales halófilos (dunas, acantilados y marismas). *Boletín de Ciencias de la Naturaleza del RIDEA*. 2009;50: 223-280.
- Díaz González TE, Fernández Prieto JA. Informe sobre la flora y la vegetación de la playa del Espartal (Castrillón). Universidad de Oviedo; 1993.
- Diego Cavada JM. Sedimentología, Morfología y Evolución del campo duna de Bayas (Asturias). M.Sc. Thesis, Universidad de Oviedo. 2014.
- Edeso JM. El relleno holoceno de la depresión de Zarauz. *Lurralde*. 1994;17: 115-152.
- Favennec J. Paysages des dunes littorales non boisées de la côte atlantique. In: Favennec J, coordinator. *Connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique. Les dossiers forestiers*. 2002, 11: 93-108.
- Flor G. Las dunas costeras de Cantabria: valores singulares geológicos. *Actas de la I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Santander. 1980. pp. 22.
- Flor G. Sedimentología de una duna lingüiforme en la playa de Xagó (Asturias). *Actas del IX Congreso Nacional de Sedimentología*. 1986;1: 317-328.

Flor G. Estructuras de deformación por cérvidos en la duna cementada de Górliz (Vizcaya, N de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*. 1989;2: 23-29.

Flor G. Modelos evolutivos de los grandes campos dunares de Asturias. El factor antrópico. Blanco Chao R, López Bedoya J, Pérez Alberti A, editors. *Procesos geomorfológicos y evolución costera: actas de la II Reunión de Geomorfología Litoral*; 2004. pp. 167-181.

Flor G, Flor-Blanco G. Morphodynamic processes in the estuarine barrier of Guernica (Northern of Spain): problems and solutions for their management. *Journal of Coastal Research (Special Issue)*. 2006;48: 41-48.

Flor G, Llera EM, Ortea JA. Los carbonatos biogénicos de los sedimentos de las playas arenosas de Asturias y Cantabria: su origen y significado dinámico. *Cuadernos del CRINAS*. 1982;2: 77.

Flor G, Flor-Blanco G, Escribano Balín R. Características morfológicas y sedimentarias de la playa artificial de Poniente (Gijón-Asturias). *Evolución* 1995-2004. *Territoris*. 2008;7: 145-156.

Flor G, Martínez Cedrún P, Flor-Blanco G. Campos dunares de Asturias, Cantabria y País Vasco. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. *Las dunas en España*; 2011. pp. 127-159.

Flor G, Martínez Cedrún P, Flor-Blanco G. Gestión de playas y dunas en las costas de Asturias y Cantabria (NW España). In: Rodríguez-Perea A, Pons GX, Roig-Munar FX, Martín-Prieto JA, Mir-Igual M, Cabrera JA, editors. *La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa*. Monografies Societat d'Història Natural de les Balears; 2012. pp. 335-348.

Flor G, Flor-Blanco G, Flores-Soriano C. Cambios ambientales por los temporales de invierno de 2014 en la costa asturiana (NO de España). In: *Trabajos de Geología*. 2014; 34: 97-123.

Flor G, Flor-Blanco G, Rey J. Dynamics and morpho-sedimentary interactions in the lower mesotidal estuary of Villaviciosa (NW Spain): A management dredging model. *Geologica acta*. 2015;13(2): 107-121.

Flor-Blanco G, Flor G, Pando L. Evolution of the Salinas-El Espartal and Xagó beach/dune systems in north-western Spain over recent decades: evidence for responses to natural processes and anthropogenic interventions. *Geo-Marine Letter*. 2013; 33(2-3): 143-157.

Flor-Blanco G, Pando L, Morales JA, Flor G. Evolution of beach–dune fields systems following the construction of jetties in estuarine mouths (Cantabrian coast, NW Spain). *Environmental Earth Sciences*. 2015;73(3): 1317-1330.

Flor-Blanco G, Flor G, Pando L, Abanades J. Morphodynamics, sedimentary and anthropogenic influences in the San Vicente de la Barquera estuary (North coast of Spain). *Geologica Acta*. 2015; 279-295.

Flores-Soriano C. Evolución de los campos dunares de Asturias desde mediados del siglo xx hasta 2014. M.Sc. Thesis, Universidad de Oviedo. 2015.

Florido Trujillo G, Lozano Valencia PJ. Las figuras de protección de los espacios naturales en la comunidades autónomas españolas: una puesta al día. *Boletín de la AGE*. 2005; 40: 57-81.

García-Artola A, Cearreta A, Leorri E. Relative sea-level changes in the Basque coast (northern Spain, Bay of Biscay) during the Holocene and Anthropocene: The Urdaibai estuary case. *Quaternary International*. 2014. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.040>.

GIOC. Estudio para la estabilización de las playas de La Magdalena y Los Peligros. Santander: Universidad de Cantabria; 2007.

Gracia FJ, Sanjaume E, Calvento LH, Cordero AIH, Flor G, Gómez-Serrano MA, del Río L. Dunas marítimas y continentales. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. 2009; 106.

Hernández-Pacheco F, Asensio Amor I. Contribución al estudio fisiográfico sedimentológico del litoral cantábrico. Gorliz. Plencia. Vizcaya. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. 1967; 65: 97-111.

Ikerketa Taldea H, Cearreta A, Iriarte E, Monge-Ganuza M. Seguimiento y evaluación sedimentológica del proyecto de regeneración dunar en Laida (Reserva de la Biosfera de Urdaibai). Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Gobierno Vasco. 2004. Available: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=DUNAS_LAIDA_evaluacion_sedimentologica.pdf

Iriarte E, Monge-Ganuza M, Cearreta A. Fases de crecimiento y estructura interna de una duna costera en regeneración (Reserva de la Biosfera de Urdaibai, País Vasco). Geogaceta. 2004;36: 139-142.

Lastra López C. editor. Especies Protegidas en Asturias. Oviedo: ANA (Asociación Asturiana de Amigos de la Naturaleza); 2005.

Ley Vega de Seoane C, Gallego Fernández JB, Vidal Pascual C. Técnicas de restauración. In: Manual de restauración de dunas costeras. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2007;6: 136-175.

Losada MA, Medina R, Desiré JM. Interacción puerto-costa. Algunos casos del litoral del País Vasco. Seminario Internacional sobre Problemas de Usos del Territorio. Planificación y Manejo de Zonas Litorales; 1987.

Martínez Cedrún P. Caracterización morfológica y sedimentológica de los campos dunares de Cantabria. Evolución ambiental. M.Sc. Thesis, Universidad de Oviedo. 2008.

Martínez Cedrún P, Flor G. Rasgos morfológicos y sedimentarios del campo dunar de Liencres (Cantabria). In: Benavente J, Gracia FJ, editors. Trabajos de Geomorfología en España, 2006-2008. Actas X Reunión Nacional de Geomorfología; 2008. pp. 275-278.

Mendia M, Monge-Ganuzas M, Díaz G, González J, Albizu X. Guía de lugares de interés geológico de Urdaibai. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco; 2011. pp. 341.

Monge-Ganuzas M, Iriarte E, Cearreta A. Regeneración dunar en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia, País Vasco). Geogaceta. 2003;34: 119-122.

Monge-Ganuzas M, Cearreta A, Iriarte E. Consequences of estuarine sand dredging and dumping on the Urdaibai Reserve of the Biosphere (Bay of Biscay): the case of the "Mundaka left wave". Journal of Iberian Geology. 2008;34: 215-234.

Monge-Ganuzas, M., Cearreta, A., & Evans, G. (2013). Morphodynamic consequences of dredging and dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of

Biscay, Spain). *Ocean & coastal management*, 77, 40-49.

Vacas Guerrero T. Los espacios naturales protegido: figuras de protección en España. Actas del XIX Congreso de Geógrafos Españoles: Espacios públicos, espacios privados; 2005. Available: http://www.urjc.es/hiryt/docs/figuras_de_proteccion.pdf

Conservación y restauración de los hábitats de dunas costeras en Cerdeña: la experiencia del proyecto LIFE+ PROVIDUNE

Mario Durán¹, Maria Silvia Pinna², Martino Orrù¹, Alberto Sanna³, Giuseppe Fenu⁴, Donatella Cogoni¹, Anna Nebot¹, Gianluigi Bacchetta¹

¹ Centro Conservazione Biodiversità (CCB), Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università degli Studi di Cagliari, Viale S. Ignazio da Laconi 11-13, I-09123 Cagliari, Italia.

² DIAEE (Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica), Sapienza Università di Roma, Corso Vittorio Emanuele II 244, I-00186 Roma, Italia.

³ Provincia di Cagliari - Settore Ambiente, Ufficio Protezione Coste, Via Cadello 9/b, 09121 Cagliari, Italia.

⁴ Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma, Piazzale A. Moro 5, I-00185 Roma, Italia.

1. Introducción

El proyecto PROVIDUNE (LIFE07NAT/IT/000519), financiado por el programa LIFE+ «Naturaleza y Biodiversidad», se ha desarrollado durante el período 2009-2014. Su principal objetivo ha sido contribuir a la aplicación de la Directiva Hábitats a nivel local mediante la realización de acciones de protección en hábitats prioritarios de dicha directiva situados en cinco Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) donde subsisten varias amenazas ambientales:

- Porto Campana (ITB042230), Stagno di Piscinni (ITB042218), Isola dei Cavoli, Serpentara, Punta Molentis y Campulongu (ITB040020), en la provincia de Cagliari;
- Pineta della Foce del Garigliano (IT8010019), en la provincia de Caserta;
- Bosco Pantano di Policoro y Costa Ionica Foce Sinni (IT92220055), en la provincia de Matera.

PROVIDUNE ha procurado aplicar las mejores prácticas y acciones para salvaguardar tanto el hábitat prioritario de interés comunitario 2250* (figura 1) como los hábitats contiguos (2270, 2230, 2240, 2110, 2120, 2210). Esto se ha conseguido a través de una estrategia común llevada a cabo por las provincias de Cagliari, Caserta y Matera, la asociación TECLA y los departamentos de Ciencias Químicas y Geología (OCEANS: Osservatorio Coste e Ambiente Naturale Sottomarino) y de Ciencias de la Vida y del Medioambiente (CCB: Centro Conservazione Biodiversità) de la Universidad de Cagliari, que han coordinado el proyecto a nivel científico.

Para alcanzar el objetivo general del proyecto, este se ha articulado en objetivos más específicos. La ampliación y la mejora del conocimiento del estado de conservación de los hábitats de estudio, tanto a nivel geomorfológico como botánico, han formado parte de las acciones preparatorias, a través de las cuales se ha realizado la cartografía de los sistemas dunares y se ha profundizado en la comprensión del sistema playa-duna. Se han analizado la estructura de la playa, su origen y su evolución en el tiempo, las direcciones de dispersión de la arena y su composición, y los lugares de acumulación de sedimentos. Aparte, se han estudiado las condiciones marinas que controlan los procesos hidrodinámicos y el impacto de los eventos meteorológicos en el sistema. Por último, se ha realizado un estudio de las especies vegetales presentes en los lugares de intervención, su distribución y desarrollo, la presencia y abundancia de especies exóticas e invasoras y la diferente tipología de los hábitats.



Figura 1. Hábitat prioritario 2250* «Dunas litorales con *Juniperus* spp.».

Como resultado de las acciones preparatorias, se han elaborado varios proyectos de restauración de hábitats y un plan de gestión. La finalidad de estas actuaciones ha sido reducir el impacto antrópico en el sistema y favorecer su equilibrio natural mediante intervenciones de bajo impacto ambiental, para favorecer los procesos naturales a través de la protección de las especies vegetales, cruciales en el proceso de estabilización de las dunas.

Las intervenciones de conservación han tenido como finalidad «traducir en realidad» los buenos propósitos de las acciones preparatorias, permitiendo al mismo tiempo el disfrute por parte de todos de estos ambientes de extraordinaria belleza. Por este motivo, se ha prestado especial atención al impacto ambiental y paisajístico de dichas actuaciones. Contemporáneamente, para hacer que el proyecto y sus objetivos sean conocidos por las poblaciones locales y por los turistas, se han llevado a cabo diferentes acciones de comunicación, cuya finalidad ha sido informar y sensibilizar a todos los entes interesados de la importancia de lo que se estaba haciendo y, al mismo tiempo, promover un uso responsable y respetuoso de un patrimonio que tenemos la fortuna de disfrutar pero que no nos pertenece.

2. Beneficios esperados

- Aplicación de mejores prácticas y acciones de protección en los hábitats de interés comunitario, en concreto en el hábitat prioritario «Dunas litorales con *Juniperus* spp.» y los hábitats contiguos en los cinco LIC.
- Desarrollo y puesta en marcha de un plan común para la protección a largo plazo de estos hábitats.
- Disminución y erradicación, en la medida de lo posible, de los factores de amenaza presentes en los hábitats dunares de los lugares de intervención, como la presión turística incontrolada, la erosión costera, las gestiones ineficientes o la difusión de especies invasoras.
- Una mayor concienciación por parte del público (estudiantes, habitantes, turistas) acerca de la importancia que estos hábitats tienen no solo por su valor paisajístico, sino también por su papel en la protección del sistema costero en sí y como medio de atenuación de los efectos del cambio climático.

3. Acciones propuestas

Para alcanzar los objetivos del proyecto se han llevado a cabo múltiples acciones con diferentes fines. Estas intervenciones se han dividido en dos grupos: acciones preparatorias y acciones de conservación.

- Acciones preparatorias: elaboración de planes de gestión y planes de acción. Han consistido en un estudio multidisciplinar de los lugares de intervención. Con los estudios sedimentológicos y de dinámica marino-costera se ha examinado la evolución de los litorales y los flujos sedimentológicos de las dunas

(figura 2). Además, el sistema de vigilancia ha permitido llevar a cabo un análisis exhaustivo de los eventos meteorológicos y de su impacto en el propio sistema.



Figura 2. Realización de la red geodésica, muestreos batimétricos y estudio de las corrientes marinas.

Por otra parte, los estudios geobotánicos han permitido conocer las características de la flora (figura 3a) y la vegetación (figura 3b-3c), además de su estado de conservación, y han resultado indispensables a la hora de efectuar una adecuada proyección preliminar de las obras de reducción de impactos (dimensiones y colocación de infraestructuras, etc.) y de recuperación y protección de los hábitats.



Figura 3. a. Flora (gálbulas de *Juniperus macrocarpa* Sm.). b-c. Tipologías de vegetación: dunas blancas de *Ammophila arenaria* y dunas fijas de litoral *Crucianellion maritima*e.

- Acciones de conservación. En primer lugar, para garantizar la conservación de las especies características de la vegetación dunar costera y, en concreto, del hábitat prioritario 2250*, se ha recogido, dentro de los LIC, germoplasma (semillas y frutos) de 52 taxones y se ha procedido a su conservación (figura 4) en el Banco de Germoplasma de Cerdeña (BG-SAR), dependiente del Departamento de Ciencias de la Vida y del Medioambiente de la Universidad de Cagliari.



Figura 4. Fases de la gestión y conservación del germoplasma.

Otro de los objetivos ha sido la individuación de protocolos eficaces de germinación de doce especies clave para su posterior multiplicación en vivero. Para la recuperación y el saneamiento de los hábitats degradados se ha procedido al posicionamiento de redes de fibra vegetal de coco (figura 5a) y empalizadas de caña (figura 5b). Las primeras han permitido estabilizar las dunas y proteger las plántulas, y las segundas (estructuras de madera y caña de forma triangular o cuadrada) han consentido retener la arena, reduciendo la erosión causada por el viento. La restauración se ha llevado a cabo mediante la erradicación de las especies invasoras presentes en el hábitat y la posterior siembra de semillas de las especies estructurales locales. Para atenuar el impacto del turismo se han acondicionado las entradas a las playas mediante la colocación de pasarelas de madera (figura 5c), que han servido tanto para canalizar los flujos de acceso como para restituir parte de la arena que los turistas se llevan consigo. Finalmente, para garantizar resultados duraderos en el tiempo se ha elaborado un plan de gestión apoyado por la creación de un banco de datos de flora y vegetación y del sedimento abiótico, que se puede consultar libremente en <http://webgis.osservatoriocostesardegn.com/providune/>.



Figura 5. a. Redes de fibra vegetal de coco. b. Empalizadas de caña. c. Pasarelas de madera.

4. Resultados obtenidos

Gracias al trabajo realizado se han conseguido una serie de resultados que han permitido conocer las características de los hábitats dunares (Pinna et ál., 2015a), la conservación ex situ e in situ de la flora y la vegetación dunar presentes en los cinco lugares de intervención y la elaboración de la cartografía de los hábitats existentes en los mismos.

En cuanto a las acciones de conservación ex situ, se han recogido un total de 159 muestras correspondientes a 52 taxones que se conservan en el BGSAR a temperaturas de 5 °C (colección activa; figura 6a) y -25 °C (colección de base; figura 6b). La recolección y conservación del germoplasma se ha efectuado de conformidad con los manuales internacionales para la recogida, el estudio, la conservación y la gestión ex situ del germoplasma (Bacchetta et ál., 2006, 2008).



Figura 6. Conservación del germoplasma: a. Colección activa. b. Colección de base.

En función de las especies recogidas y de su importancia en términos de conservación, se han seleccionado 12 taxones —*Ammophila arenaria* (L.) Link subsp. *australis* (Mabille) Láinz, *Anthemis maritima* L., *Cistus salviifolius* L., *Crucianella maritima* L., *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis subsp. *farctus*, *Eryngium maritimum* L., *Juncus maritimus* Lam., *Juncus subulatus* Forssk., *Juniperus macrocarpa* Sm., *Juniperus phoenicea* L. subsp. *turbinata* (Guss.) Nyman, *Pancratium maritimum* L. y *Pistacia lentiscus* L.—, sobre los cuales se han llevado a cabo pruebas experimentales de germinación. Además, a partir del germoplasma recogido en la provincia de Cagliari, se ha realizado un trabajo relativo a la germinación de la especie *Juniperus macrocarpa* (figura 7). Los resultados de dicho trabajo han permitido evidenciar una baja vitalidad de las semillas (40 %) y porcentajes reducidos de germinación (media del 10 % con picos del 45 %) de la especie; las semillas de *J. macrocarpa* han resultado ser latentes (Pinna et ál., 2014a).



Figura 7. Estudio de la germinación de *Juniperus macrocarpa* Sm.

En referencia a la conservación in situ, se ha llevado a cabo un proyecto piloto de reintroducción de las especies estructurales del hábitat 2250* (*Juniperus macrocarpa*, *Pistacia lentiscus* y *Pancratium maritimum*) en todas las áreas de intervención, con el objetivo de contribuir al refuerzo de las especies estructurales, contener la fragmentación de los hábitats y asegurar la funcionalidad ecológica. Con esta finalidad se han muestreado los efectos de la reintroducción de las especies estructurales en el interior de las empalizadas (2,5 m²) y de los cuadrados permanentes de fibra vegetal de coco (20 m²). En concreto, los resultados preliminares han demostrado la eficacia de la utilización de las empalizadas y de la reintroducción (figura 8). En especial, la especie *Pancratium maritimum*, gracias a la fácil recolección de sus semillas y a una germinación rápida que no requiere pretratamientos, ha demostrado ser particularmente idónea para futuras intervenciones de recuperación y restauración en todas las áreas costeras de la cuenca del Mediterráneo. En cuanto a los cuadrados permanentes de fibra vegetal de coco, han confirmado ser sistemas eficientes para evitar la erosión y la dispersión eólica del sedimento.



Figura 8. Resultados de la siembra de *Pancratium maritimum* L. en el interior de las empalizadas.

Además, diversos estudios in situ relativos al estado de las poblaciones de *Juniperus macrocarpa* se han presentado en varios congresos científicos (Pinna et ál., 2012, 2011, 2010). Se ha realizado también un estudio específico (Pinna et ál., 2014b) sobre la germinación, la supervivencia y la mortalidad de las plántulas de *J. macrocarpa* muestreadas en el interior de los cuadrados permanentes (1x1 m) situados en los lugares de intervención de la provincia de Cagliari (figuras 9a y 9b). Los resultados de estos estudios han puesto de manifiesto:

- una emergencia de las plántulas principalmente durante el periodo invernal (durante el resto del año está fuertemente limitada por la aridez).
- una baja supervivencia de las plántulas (15 %);
- una elevada mortalidad en correlación con la presencia de herbívoros durante el período estival.



Figura 9. a. Estudio de las primeras etapas del ciclo vital de *Juniperus macrocarpa* en el interior de cuadrados permanentes 1x1.
b. Plántula de *Juniperus macrocarpa*.

Las acciones concretas de conservación han finalizado cerca de la conclusión del proyecto; por tanto, los resultados serán evaluables en el curso de los próximos años. Por el momento, es posible afirmar que todas las operaciones realizadas constituyen un freno a los factores de amenaza, particularmente al impacto que representa el elevado turismo en los meses estivales. La eficacia de las empalizadas de caña y las redes de fibra de coco se está haciendo patente desde el inicio (figura 10). En cuanto a las pasarelas y el resto de estructuras que se empezaron a utilizar, ya han comenzado a producir efectos positivos; además, han tenido una buena acogida por parte de todos, tanto por su utilidad como por su bajo impacto visual. Por estos motivos será muy importante asegurar, con el plan de conservación Post-LIFE, la manutención de estas estructuras.



Figura 10. Eficacia de las redes de fibra vegetal de coco y de las empalizadas.

5. Beneficios e impactos del proyecto en los hábitats

Todos los hábitats objeto de estudio y sus especies características han tenido un beneficio directo gracias a la implantación de las pasarelas, la erradicación de las especies invasoras y las intervenciones de ingeniería ambiental enfocadas a la recuperación de las dunas. Además, las intervenciones experimentales de siembra han contribuido a la restauración y el control de los impactos derivados de las obras.

En el perfil económico, los beneficios obtenidos son correlativos a los beneficios ambientales, en cuanto a que la mejora de la calidad ambiental se traducirá en un incremento del valor de los lugares donde se desarrollan las actividades turísticas, generándose, en consecuencia, beneficios económicos para todas las actividades presentes.

En conclusión, es importante considerar que, al igual que otros estudios de conservación llevados a cabo en diferentes áreas costeras de Cerdeña (Cogoni et ál., 2013; Fenu et ál., 2015a; b: Pinna et ál., 2015b), los resultados obtenidos en el proyecto son extrapolables a todos los contextos costeros y dunares no solo en Cerdeña, Basilicata y Campania, sino en general en toda la cuenca del Mediterráneo.

Referencias

Bacchetta G, Fenu G, Mattana E, Piotto B, Virevaire M, editors. Manuale per la raccolta, studio, conservazione e gestione ex situ del germoplasma. Manuali e Linee guida APAT 37/2006; 2006.

Bacchetta G, Bueno Sánchez A, Fenu G, Jiménez-Alfaro B, Mattana E, Piotto B, Virevaire M, editors. *Conservación ex situ de plantas silvestres*. Principado de Asturias / La Caixa; 2008.

Cogoni D, Fenu G, Concas E, Bacchetta G. The effectiveness of plant conservation measures: the *Dianthus morisianus* reintroduction. *Oryx*; 2013; 47: 203-206.

Fenu G, Cogoni D, Sulis E, Bacchetta G. Ecological response to human trampling and conservation status of *Helianthemum caput-felis* (Cistaceae) at the eastern periphery of its range. *Acta Botanica Gallica*. 2015; 162: 191-201.

Fenu G, Cogoni D, Bacchetta G. The role of fencing in the success of threatened plant species translocation. *Plant Ecol*. 2015b; in press.

Pinna MS, Pontecorvo C, Bacchetta G. Il progetto Life Providune per la valutazione delle minacce, ripristino e conservazione degli habitat dunali. *Atti del Terzo Simposio CNR-Ibimet: Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura*. 2010; 131-138.

Pinna MS, Pontecorvo C, Bacchetta G. Stato di conservazione delle formazioni a *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* in quattro siti della Sardegna meridionale. *Bollettino dei Musei e degli Istituti Biologici dell' Università di Genova*. 2011; 73: 161.

Pinna MS, Pontecorvo C, Cañadas EM, Bacchetta G. Analisi dell'impatto antropico sulle formazioni a *Juniperus macrocarpa* della Sardegna meridionale. *Atti del IV Simposio Internazionale «Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo, problematiche e tecniche di misura»*. 2012; 397-404.

Pinna MS, Mattana E, Cañadas EM, Bacchetta G. Effects of pre-treatments and temperature on seed viability and germination of *Juniperus macrocarpa* Sm. *Comptes Rendus Biologies*. 2014a; 337: 338-344.

Pinna MS, Cañadas EM, Bacchetta G. Initial constraints in seedling dynamics of *Juniperus macrocarpa* Sm. *Plant Ecol*. 2014b; 215: 853-861.

Pinna MS, Cañadas EM, Fenu G, Bacchetta G. The European *Juniperus* habitat in the Sardinian coastal dunes: Implication for conservation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015a; 164: 214-220.

Pinna MS, Cogoni D, Fenu G, Bacchetta G. The conservation status and anthropogenic impacts assessments of Mediterranean coastal dunes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015b; in press.

Transformación histórica reciente y situación actual del paisaje dunar en Cataluña

Josep Pintó i Carla Garcia-Lozano

Laboratorio de Análisis y Gestión del Paisaje (LAGP). Universitat de Girona

1. Introducción

1.1. Las dunas litorales en Cataluña

Las dunas litorales constituyen un paisaje singular que tradicionalmente ha sido poco valorado, si no percibido como un problema. Las dunas son formas de relieve generadas por la acción del viento en las playas. El viento arrastra y transporta granos de arena y los deposita cuando encuentra un obstáculo que provoca una disminución de su velocidad y, por tanto, de la capacidad de transporte. La acumulación de los granos de arena crea formas dunares que varían en función del volumen y la altura de la arena depositada, del obstáculo que las ha generado y de la colonización vegetal.

Las morfologías dunares se pueden dar en cualquier sector de la playa, pero la acción del oleaje, sobre todo durante los episodios de temporal, impide que adquieran grandes dimensiones o se consoliden en las partes más expuestas de la playa. Es en el límite interior donde las dunas presentan un desarrollo más importante, tanto en anchura como en altura, y donde pueden llegar a formar una cresta dunar paralela a la línea de costa y característica de los paisajes dunares. Las dunas más desarrolladas se generan en las playas más amplias y mejor alimentadas de arena si hay vientos lo bastante fuertes que soplen con frecuencia. Entonces se pueden extender tierra adentro y formar campos de dunas móviles, un fenómeno que en la costa catalana solo se da actualmente en algunos sectores del delta del Ebro. No obstante, las dunas más grandes y más extensas que existen en Cataluña son los dos vastos campos de dunas interiores que se encuentran en el Montgrí y en las montañas de Begur, fijadas por pinedas desde finales del siglo XIX y principios del XX. Estas dunas se desarrollaron a lo largo de décadas por la acción de la tramontana, al desplazar hacia el sur las arenas que los ríos Fluvià y Ter aportaban a las playas de Empúries y Pals, respectivamente.

Las condiciones ambientales que se dan en las dunas litorales responden a los valores que adoptan factores como el aerosol marino, el movimiento de la arena por la acción del viento, la humedad del suelo, la temperatura, la presencia de nutrientes y la erosión de las morfologías dunares (Moreno-Casasola, 1986; Hesp, 1991; Maun, 1998; Wilson y Sykes, 1999; Ruocco *et al.*, 2014). La mayoría de estos factores varía de acuerdo con un gradiente que se establece de mar hacia tierra y que da lugar a una zonación característica de las comunidades vegetales y los hábitats (Bolòs, 1967; Perdígó y Papió, 1985; Curcó, 1990 y 1996; Gestí, 2001).

Los hábitats dunares poseen una gran biodiversidad y numerosas especies de interés, por lo que han sido considerados de interés comunitario y se han incluido en la Directiva de Hábitats 92/43/CEE (European Commission, 1992; European Commission, 2007). En Cataluña se han identificado 11 hábitats relacionados con los ambientes de duna y playa alta (Vigo *et al.*, 2005) y hasta 37 plantas vasculares que tienen su hábitat exclusivo en las playas y dunas de la costa catalana (Pintó *et al.*, 2012; Pintó *et al.*, 2014).

A pesar de ello, los hábitats dunares están en retroceso en toda Europa (European Commission, 2008), y la biodiversidad que albergan se halla gravemente amenazada incluso en los sistemas dunares mejor protegidos (Cori, 1999; La Posta *et al.*, 2008). Se estima que a lo largo del último siglo ha desaparecido

casi un 70 % de los sistemas dunares europeos, en relación con la urbanización del litoral y con otros factores derivados de esta (McLachlan y Brown, 2006). La costa mediterránea no ha sido una excepción. Según Fabbri (1997), esto se debe al escaso desarrollo adquirido por los sistemas dunares en muchos tramos de la costa mediterránea en comparación con el litoral de otros mares. Además, las poblaciones locales han mostrado tradicionalmente un bajo aprecio por las dunas, que han sido percibidas más como unos espacios no productivos y problemáticos que como un componente valioso del patrimonio natural y paisajístico costero.

La importancia de los paisajes dunares solo ha sido reconocida recientemente, y hoy día la mayoría de estos paisajes está protegida de las actividades humanas más destructivas mediante disposiciones de ámbito europeo, nacional o local (Baeyens y Martínez, 2004). No obstante esta protección, los sistemas dunares se localizan en costas que durante los meses de verano acogen a un gran número de turistas. El pisoteo de las dunas y otras perturbaciones derivadas de la frecuentación humana, así como la introducción de especies exóticas invasoras (Panareda y Pintó, 2015; Pino *et al.*, 2006), amenazan la conservación de las morfologías dunares y de las especies y comunidades más sensibles.

El objetivo de este trabajo es presentar la evolución de los paisajes dunares litorales a partir de datos extraídos de fuentes documentales, fotográficas y cartográficas que abarcan desde finales del siglo XVIII hasta el momento actual, además de una tipología de los sistemas dunares existentes en Cataluña hoy día.

El trabajo se centra en los sistemas dunares situados en el límite interior de las playas, denominados *foredune* en la literatura, y que comprenden una gama de hábitats y morfologías dunares que van desde las dunas incipientes y las móviles hasta las dunas estabilizadas. A estos hay que añadir las dunas interiores del Montgrí y de Begur, fijadas por pinedas desde hace ya más de un siglo y sujetas en la actualidad a unas dinámicas y unos procesos diferentes de los que controlan la evolución de las *foredunes*.

2. Metodología

Para establecer cuál era la distribución de las dunas en la costa catalana en el pasado, se ha comenzado por explorar el *Diario de los viajes hechos en Cataluña (1785-1790)*, de Francisco de Zamora, y el *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar* (1845-1850), de Pascual Madoz; se trata de dos obras de referencia que proporcionan una valiosa información sobre las características demográficas, económicas y territoriales de Cataluña a finales del siglo XVIII y durante la primera mitad del XIX.

Francisco de Zamora (1757-1812) fue un personaje de la Ilustración y magistrado de la Administración de Justicia destinado en la Audiencia de Barcelona bajo el reinado de Carlos III. Medio por curiosidad personal, medio por encargo del conde de Floridablanca, efectuó cinco viajes a diferentes comarcas catalanas donde tomó notas de todos los hechos geográficos que consideró de interés y donde, de acuerdo con Font y Llobet (1989), supo recoger los rasgos característicos de la acción humana sobre el territorio y describir los elementos constitutivos de la fisonomía del paisaje de Cataluña.

Pascual Madoz (1806-1870), por otra parte, fue un político liberal que, tras exiliarse y residir una temporada en Barcelona, donde trabajó en la elaboración del diccionario geográfico universal que

se publicaba en esta ciudad, fue nombrado ministro de Hacienda en el año 1855, durante el Bienio Progresista (1854-1856) presidido por Espartero; desde este cargo, impulsó la desamortización de bienes comunales que lleva su nombre. El *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España* es un inventario de los aspectos territoriales, demográficos e históricos así como de los recursos y las actividades económicas de cada uno de los municipios españoles de aquel tiempo, y constituye una valiosa fuente de información sobre los principales rasgos geográficos de la primera mitad del siglo XIX.

Además de los datos contenidos en estas dos obras de finales del siglo XVIII y mediados del XIX, se han vaciado diversas monografías regionales publicadas durante las primeras décadas del siglo XX, como la *Geografia General de Catalunya* (1908-1918), de Francesc Carreras Candi, *El paisatge de Catalunya* (1928), de Marcel Chevalier, y el *Resum de geografia de Catalunya*, de Pau Vila, editado en diversos volúmenes entre 1928 y 1936. Finalmente, se ha consultado la *Geografia de Catalunya* que la editorial Aedos publicó en cuatro volúmenes entre los años 1958 y 1968. Estas obras abarcan el conjunto del territorio catalán y dan una información de síntesis de los conocimientos existentes en cada momento.

Otra fuente de información han sido las colecciones de fotografías antiguas correspondientes a las primeras décadas del siglo XX; a menudo se trata de postales de paisajes efectuadas por fotógrafos de la época, como Louis Roisin, Àngel Toldrà y Adolfo Zerkowitz, algunas ya publicadas en monografías de ámbito local o comarcal —como *La Costa Brava abans de la Costa Brava*, *Costa Brava panoràmica* y la colección de libros de fotografías antiguas «L'Abans», sobre diversos municipios— y otras depositadas en organismos e instituciones diversos, como el fondo de fotografías aéreas oblicuas de Josep Gaspar Serra de 1929, depositado en el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC), y las colecciones de postales del Círculo Cartófilo de Cataluña. También se ha revisado el fondo de fotografías antiguas de la Diputación de Girona para el caso de las playas de la Costa Brava. Finalmente, se ha tenido en cuenta así mismo la información contenida en postales de autores diversos adquiridas en tiendas de coleccionistas y propiedad del Laboratorio de Análisis y Gestión del Paisaje (LAGP) de la Universitat de Girona (UdG). La información que proporcionan las fotografías oblicuas es siempre fiable si el objeto de interés, en este caso las dunas, se observa con nitidez en la imagen. Otra cosa es cuando la fotografía corresponde a panorámicas captadas a cierta distancia y las morfologías dunares son incipientes o no están demasiado desarrolladas: en estas condiciones no es posible certificar absolutamente su presencia porque se pueden confundir con otros elementos, como taludes, depósitos de restos de posidonia o acumulaciones diversas de materiales de desecho, dada la utilización extensiva a la que muchas playas eran sometidas a principios del siglo XX por parte de los pescadores y las diversas actividades de apoyo a la pesca. En otros casos, cuando la fotografía comprende solo un sector de la playa, se puede certificar la presencia de las dunas pero no la superficie total que ocupan.

Se han revisado así mismo las primeras ediciones de las hojas del *Mapa Topográfico Nacional* a escala 1:50.000 producidas en las primeras décadas del siglo XX y recopiladas en el *Atlas topogràfic-històric de Catalunya 1:50.000* (ICGC, 2012). La leyenda de estos mapas incluye los sistemas dunares y estos están cartografiados, al menos en las playas donde las dunas eran más extensas. A pesar de que, en algunos casos, la precisión en lo que se refiere a la superficie que ocupaban las dunas y sus límites es más que discutible, se trata de un elemento que puede corroborar los datos de presencia obtenidos a partir de alguna otra fuente.

La capa del mapa geológico de Cataluña en formato digital se ha utilizado para localizar los afloramientos de arenas contiguos a las playas actuales, y se ha investigado si existía una correlación entre estas arenas y las pinedas como cubierta del suelo de estos materiales geológicos, ya que es sabido que muchos espacios dunares fueron fijados en algún momento u otro del siglo xx mediante la plantación de pinos (Valverde, 1998), tanto para evitar el avance de las dunas hacia los cultivos y las propiedades adyacentes a la costa como para obtener algún tipo de rendimiento económico de estos espacios.

También se han fotointerpretado las fotografías aéreas del vuelo americano serie A de 1946-1947 disponibles en el servidor en línea (Geoserveis, Web Map Service de históricos) del ICGC para comprobar si las dunas identificadas por medio de alguna de las fuentes mencionadas se podían reconocer en los fotogramas aéreos y para perfilar mejor su localización y dimensiones. En los casos en que los fotogramas del vuelo antedicho no permitían determinar la extensión de las dunas, se han utilizado los fotogramas en papel del vuelo americano serie B de 1956-1957 disponibles en la cartoteca de la Universitat de Girona.

En lo que se refiere a la diagnosis y la clasificación del estado actual de las dunas en la costa catalana, la metodología seguida se ha basado en la fotointerpretación de los ortofotomapas en color y a escala 1:2500 del vuelo del 2014 del ICGC y en la digitalización de todos los sistemas y cuerpos dunares identificados.¹ En algunos casos, para determinar con más precisión el límite de los sistemas dunares se ha utilizado el vuelo de la costa catalana de 2014 a escala 10 cm. Los casos dudosos, además, se verificaron sobre el terreno. En paralelo, entre la primavera y el otoño de los años 2013, 2014 y 2015 se efectuaron diversas campañas de trabajo de campo al objeto de recoger datos sobre las variables morfológicas, los procesos y las perturbaciones (altura, tipo, estado de desarrollo, procesos erosivos, impactos) así como sobre los hábitats y la vegetación de los principales sistemas dunares existentes en la costa catalana.

3. Resultados

3.1. Las dunas en el pasado

La información obtenida de las fuentes bibliográficas es escasa y se refiere únicamente a los sistemas dunares más desarrollados y conocidos. En las obras de Francisco de Zamora y Pascual Madoz la costa merece, en general, poca atención. Francisco de Zamora visitó la comarca del Baix Empordà en 1790, durante uno de sus viajes, y en su diario se refirió a las dunas interiores del Montgrí y de Begur de la siguiente manera:

«Salimos de aquí [L'Escala] pasando al poco rato por algunos montes de arena finísima, que a impulsos de la tramontana mudan de situación. Son muy grandes. Más aún sucede esto en Bagur, lo que ha dado lugar al adagio: es como las montañas de Bagur, que en verlas mudan». (p. 362, en la edición de R. Boixareu, 1973)

¹ La capa de los polígonos dunares digitalizados se puede consultar en el visor Platges i Dunes-CAT, en la dirección: <http://geofis1.udg.edu/mapadunes/map.phtml>.

«Salimos de Torroella para ir a Palamós, pasando a vado el río Ter [...] A sus orillas vimos los montes que forman las arenas movidas del viento, lo que también sucede a orillas del Fluviá. [...] Empezamos a caminar por las famosas montañas que el aire las muda y dieron motivo al adagio que apuntamos. Hay viñas cerca de ellas, las cuales entierra la arena muchas veces. Y para remediarlo siegan una hierba larga que aquí llaman *borró* y se cría sobre los mismos montes de arena. Pasa algunos años sin mudarse y la extienden sobre la arena de las viñas, para que el aire no la levante. Este arenal tiene media hora». (p. 366, en la edición de R. Boixareu, 1973)

Como se ha comentado antes, las dunas interiores del Montgrí y de Begur son los sistemas más extensos que existen en Cataluña, y por lo que se desprende del texto, ya eran conocidas y admiradas como curiosidad a finales del siglo XVIII. Un dato que destaca, y que, como veremos, se repite en otros autores posteriores, es que las dunas de Begur son descritas como más altas y extensas que las del Montgrí.

La obra de Pascual Madoz, por su parte, se centra sobre todo en la producción y el comercio de bienes, salvo breves descripciones del relieve de cada municipio que en la mayoría de los casos obvian la costa. El litoral se toma en consideración solo en relación con las actividades pesqueras y de comercio marítimo que se puedan desarrollar. A diferencia de las zonas de humedales, que se mencionan con profusión en diversas localidades, muchas veces en conexión con las fiebres que provocaban en los núcleos de población vecinos, las dunas litorales solo aparecen explícitamente en el caso del municipio de Castelldefels:

«El Terreno participa de monte y llano; es de buena calidad a excepción de la parte cercana al mar, en que es flojo y arenoso, en cuyo litoral han formado los recios vientos que soplan de continuo una cordillera de montes de arena que parecen estar marcando límites a las aguas del Mediterráneo [...]». (P. Madoz, vol. VI, p. 95, 1847)



Figura 1. Las dunas de Castelldefels a principios del siglo XX. Fuente: fondo de imágenes antiguas del ICGC.

De esta descripción parece deducirse que las dunas de Castelldefels debían de tener unas dimensiones considerables, en primer lugar por el hecho mismo de ser el único municipio donde las dunas se consideran dignas de mención y, después, por los términos empleados: «una cordillera de montes de arena...». De hecho, la referencia a las notables dimensiones de las dunas de la playa de Castelldefels se encuentra también en Chevalier (1928) así como en documentos fotográficos de principios del siglo XX (figura 1).

Por otra parte, en las primeras décadas del siglo XX, el geólogo Lucas Mallada y el también geólogo Josep Ramon Bataller ya mencionan dunas de grandes dimensiones en el cabo de Salou. En un artículo de Bataller publicado en el *Butlletí del Centre Excursionista de Catalunya* de 1923, efectivamente, consta un croquis (figura 2) de la superficie ocupada por las dunas trepadoras generadas por el viento mistral o *serè* que arrastraba la arena procedente de la playa de Salou en dirección NO-SE.

Sobre la presencia de dunas en el litoral catalán se encuentran nuevos datos en la obra *El paisatge de Catalunya* (Chevalier, 1928), ya que no hemos sabido localizar ninguna información que haga referencia a ello en ninguno de los volúmenes de la *Geografia General de Catalunya* de Carreras Candi, la cual, por otra parte, tiene un enfoque muy historicista, de acuerdo con la formación del autor.

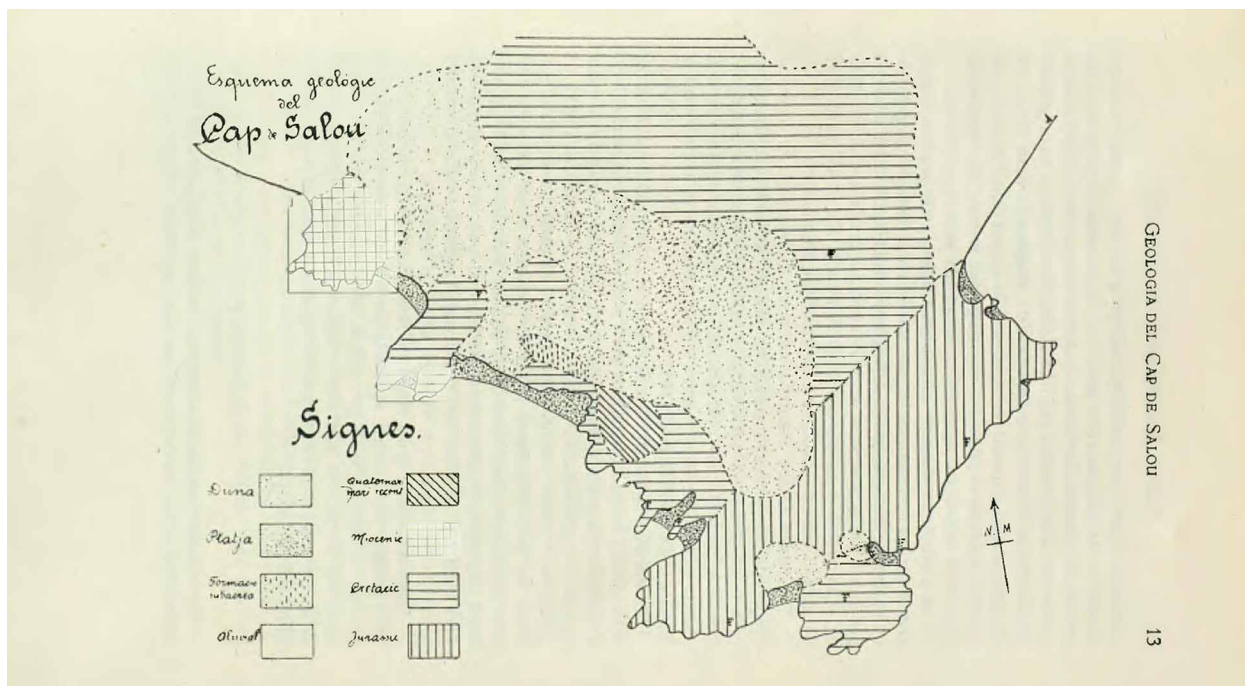


Figura 2. Croquis de la extensió de las dunas en el cabo de Salou a principios del siglo xx. Fuente: Bataller, J.R., y Vilaseca, S., 1923, p. 13.

En la citada obra de Chevalier se mencionan las dunas del Empordà y se vuelve a repetir el hecho de que las de Begur se describen con más abundancia de datos que las del Montgrí:

«Al N i al S d'Emporion hi ha dunes que començaren a formar-se, sens dubte, a la mateixa època [es refereix al període no especificat en què el port d'Empúries es va reblir de sediments i la línia de costa va retrocedir] i que la vegetació va afermar més tard. Altres dunes més importants i molt properes a l'Escala semblen haver-se format amb la sorra que, havent entrat per la cala de la Clota, empesa després pels vents dominants del N i del NE, assaltà el massís cretaci del Montgrí; aquesta sorra, prenent el massís per darrere, ha escalat cap al sud. [...] Cal remarcar també que s'han format dunes importants al S d'aquesta línia de costes i que la sorra empesa pels vents N i NE, com a l'Escala, s'ha llençat pel mas Matilde a l'assalt de les muntanyoles paleozoiques de Begur, i ha arribat al poble i àdhuc més enllà, és a dir, a més de 4 km del seu punt d'origen, fins a assolir una altura de 210 m [...].»

«Al N y al S de Emporion hay dunas que comenzaron a formarse, sin duda, en la misma época [se refiere al período no especificado en que el puerto de Empúries se llenó de sedimentos y la línea de la costa retrocedió] y que la vegetación afirmó más tarde. Otras dunas más importantes y muy próximas a L'Escala parecen haberse formado con la arena que, habiendo entrado por la cala de la Clota, empujada después por los vientos dominantes del N y del NE, asaltó el macizo cretáceo del

Montgrí; esta arena, tomando el macizo por detrás, ha escalado hacia el sur. [...] Hay que remarcar también que se han formado dunas importantes en el S de esta línea de costas y que la arena empujada por los vientos N y NE, como en L'Escala, se ha lanzado por la masía Matilde al asalto de las montañitas paleozoicas de Begur, y ha llegado al pueblo e incluso más allá, es decir, a más de 4 km de su punto de origen, hasta alcanzar una altura de 210 m [...]. (Chevalier, *op. cit.*, p. 99)

Además de referirse a las dunas interiores del Empordà, Chevalier presenta una breve enumeración de lugares del litoral donde hay dunas:

«Ultra les dunes de l'Empordà, a Catalunya hom en troba al delta del Llobregat, al sud de Castelldefels, on tenen una certa importància; a Calafell; i sobretot a les platges del Cap de Salou, on han assaltat els arbres i on alguns d'aquests, mig ensorrats, no deixen veure més que el cim. A la desembocadura mateixa de l'Ebre hi ha també algunes dunes de poca importància, sobretot si hom en compara la superfície amb la que ocupen els sediments del delta.»

«Además de las dunas del Empordà, en Cataluña se encuentran en el delta del Llobregat, al sur de Castelldefels, donde tienen una cierta importancia; en Calafell; y sobre todo en las playas del Cabo de Salou, donde han asaltado los árboles y donde algunos de estos, medio enterrados en la arena, no dejan ver más que la copa. En la desembocadura misma del Ebro hay también algunas dunas de poca importancia, sobre todo si comparamos su superficie con la que ocupan los sedimentos del delta». (Chevalier, *op. cit.*, p. 115)

Esta lista presenta la novedad de mencionar dunas en Calafell —actualmente ya desaparecidas, sin que se tengan otras referencias— y, además, de subrayar la importancia de las de Castelldefels, que ya habíamos comentado en el caso de la obra de Madoz, al tiempo que minimiza las dunas del delta del Ebro. Chevalier, por otra parte, resalta el desarrollo adquirido por las dunas en el cabo de Salou, circunstancia que, como veremos más adelante, se señala también en obras posteriores.

De hecho, no se encuentran nuevas informaciones sobre la presencia de dunas en el litoral hasta la *Geografia de Catalunya* (GC) dirigida por Lluís Solé Sabarís y publicada por la editorial Aedos entre 1958 y 1968, ya que en el *Resum de geografia de Catalunya* de Pau Vila no se hace mención alguna a su existencia. La GC de Aedos menciona las dunas del Empordà e insiste en las grandes dimensiones de las de Begur:

«La costa del golf de Roses [...] es tracta d'una costa baixa, pantanosa, sorrenca, en gran part voltada de dunes, com les que sepultaren les ruïnes d'Empúries. Aquestes dunes, arrossegades per la força de la tramuntana, s'han enfilat pels vessants del massís de Begur fins als dos-cents metres d'alçària i han envaït camps i veïnats, per la qual cosa han hagut de fixar-se amb plantacions de pinedes que les han transformat en dunes mortes.»

«La costa del golfo de Roses [...] se trata de una costa baja, pantanosa, arenosa, en gran parte rodeada de dunas, como las que sepultaron las ruinas de Empúries. Estas dunas, arrastradas por la fuerza de la tramontana, han trepado por las vertientes del macizo de Begur hasta los doscientos metros de altura y han invadido campos y caseríos, por lo que han tenido que ser fijadas con plantaciones de pinedas que las han transformado en dunas muertas». (GC, vol. III, p. 145, 1958)

También se mencionan las dunas del delta del Llobregat, con datos de sus dimensiones y extensión así como de las plantaciones de pinos que se realizaron para fijarlas:

«Petits cordons de dunes, de 6 a 8 m d'altura, paral·leles a la platja, arriben en el sector de Castelldefels un quilòmetre terra endins i s'enfilen pels costers del massís de Garraf [...]»

«[...] I més amples que la sorra [de la platja], les esplèndides pinedes de Nou Rals, plantades a finals del segle passat per deturar l'avenç de les dunes, i anomenades així perquè el terreny, no conreat, era venut a nou rals la mujada (unes 4,60 pessetes l'hectàrea). Avui aquestes pinedes de pi pinyer donen nom a una magnífica urbanització.»

«Pequeños cordones de dunas, de 6 a 8 m de altura, paralelas a la playa, llegan en el sector de Castelldefels un kilómetro tierra adentro y trepan por las pendientes del macizo de Garraf [...]». (GC, vol. III, p. 457, 1968)

«[...] Y más anchas que la arena [de la playa], las espléndidas pinedas de Nou Rals, plantadas a finales del siglo pasado para detener el avance de las dunas, y llamadas así porque el terreno, no cultivado, se vendía a nueve reales la mojada (unas 4,60 pesetas la hectárea). Hoy día, estas pinedas de pino piñonero dan nombre a una magnífica urbanización». (GC, vol. III, pie de fotografía en la p. 457, 1968)

En esta obra, además, se hace referencia a las dunas «de muy poca importancia» (GC, vol. III, p. 197) existentes en la playa de Creixell y en el cabo Gros, que pensamos que debían de corresponder a Els Muntanyans de Torredembarra, que se extienden también hacia la playa de Creixell.

Se indica también la existencia de dunas de grandes dimensiones en el cabo de Salou, circunstancia que ya habían hecho constar otros autores con anterioridad:

«Al cap de Salou, però, les anomenades “muntanyes d'arena”, fins que l'edificació ha cobert tot el promontori, oferien volums molt considerables. Mn. Bataller, en el present segle, n'esmenta de 50 m d'alt i dos quilòmetres i mig de llarg, i Mallada, al segle passat [es refereix al segle XIX], diu que en veié d'un centenar de metres d'alt. S'internaven fins a un parell de quilòmetres terra endins i inutilitzaven les vinyes. L'avenç es feia en direcció a Tarragona, empeses pel vent serè.»

«En el cabo de Salou, sin embargo, las llamadas “montañas de arena”, hasta que la edificación ha cubierto todo el promontorio, ofrecían volúmenes muy considerables. Mosén Bataller, en el presente siglo, las menciona de 50 m de alto y dos kilómetros y medio de largo, y Mallada, en el siglo pasado [se refiere al siglo XIX], dice que las vio de un centenar de metros de alto. Se internaban hasta un par de kilómetros tierra adentro e inutilizaban las viñas. El avance se hacía en dirección a Tarragona, empujadas por el viento *serè*». (GC, vol. III, p. 197, 1968)

La información extraída de las fotografías convencionales de principios del siglo XX ha sido más prolífica que la aportada por la bibliografía. Por medio de la observación de las imágenes de paisajes contenidas en las postales se puede apreciar la presencia de dunas en la mayoría de las playas.

En muchos casos se trata de dunas de dimensiones modestas, pequeños montículos o dunas de tipo rampa aplicadas contra muros y taludes que delimitaban interiormente la playa. En algunas playas, como en Sa Riera (figura 3), se ven cordones dunares, y en otras, como en Platja d'Aro (figura 5), sistemas más desarrollados fijados por pinedas. La tabla 1 refleja las playas de las que hemos encontrado fotografías antiguas que muestran la presencia de dunas y cuál es el estado actual de estas dunas.

Municipio (1)	Playa (2)	Fotografía aérea (3)	Estado actual de las dunas (4)
Roses	L'Almadrava	No	Urbanizada
	La Perola	No	Urbanizada
	Santa Margarida y El Salatar	Vuelo 47	Urbanizada / desaparecida
L'Escala	Playas de Empúries	Vuelo 47	Disminución
Pals	Pals	Vuelo 47	Urbanizada / disminución
Begur	Sa Riera	Vuelo 57	Urbanizada
	Sa Tuna	No	Urbanizada
Palafrugell	Tamariu	Vuelo 57	Desaparecida
	Llafranc	Vuelo 57	Desaparecida
	Port Pelegrí	No	Urbanizada
Palamós	La Fosca	Vuelo 57	Urbanizada / disminución
	Gran de Palamós	Vuelo 47	Urbanizada / desaparecida
Calonge	Monestri y Sant Antoni	Vuelo 57	Urbanizada
	Roques Planes	No	Desaparecida
Castell-Platja d'Aro	Gran d'Aro	Vuelo 47	Urbanizada
Sant Feliu de Guíxols	Sant Pol	Vuelo 57	Disminución
	Sant Feliu	Vuelo 57	Urbanizada / desaparecida
Tossa de Mar	Gran de Tossa	Vuelo 57	Urbanizada / desaparecida
Lloret de Mar	Lloret	No	Urbanizada
	Santa Cristina	Vuelo 57	Desaparecida
Blanes	Blanes	Vuelo 47	Urbanizada
Calella	Gran de Calella y de Garbí	Vuelo 47	Desaparecida
Canet de Mar	Del Pla	Vuelo 47	Disminución
	Canet	Vuelo 47	Desaparecida
	Del Cavalló	Vuelo 57	Desaparecida
Arenys de Mar	Del Cavalló	Vuelo 47	Desaparecida
	Primera Platja	No	Desaparecida
El Masnou	Playa del Masnou, playa de Ocata	Vuelo 47	Urbanizada
	La Morera	Vuelo 57	Desaparecida
El Prat de Llobregat	Del Prat	Vuelo 47	Urbanizada / desaparecida / disminución
Sitges	Garraf	Vuelo 57	Desaparecida
	Tramo Club Náutico-Les Anquines	Vuelo 47	Desaparecida
Tarragona	Del Miracle y Llarga	Vuelo 47	Urbanizada / desaparecida

Tabla 1. Playas en las que se han identificado dunas en las fotografías antiguas

1. Nombre del municipio donde se localiza la playa. 2. Nombre de las playas donde se han observado dunas en fotografías antiguas. 3. Esta columna indica si en la observación de las fotografías aéreas del año 1947 o 1957 son visibles aún las dunas identificadas en las imágenes antiguas. 4. Estado actual de las dunas: si han desaparecido, si han sido urbanizadas o si ha disminuido su extensión.



Figura 3. La cala de Sa Riera con un sector de dunas en rampa delante de las casas y al final de la riera. Fuente: fondo Gaspar, ICGC.

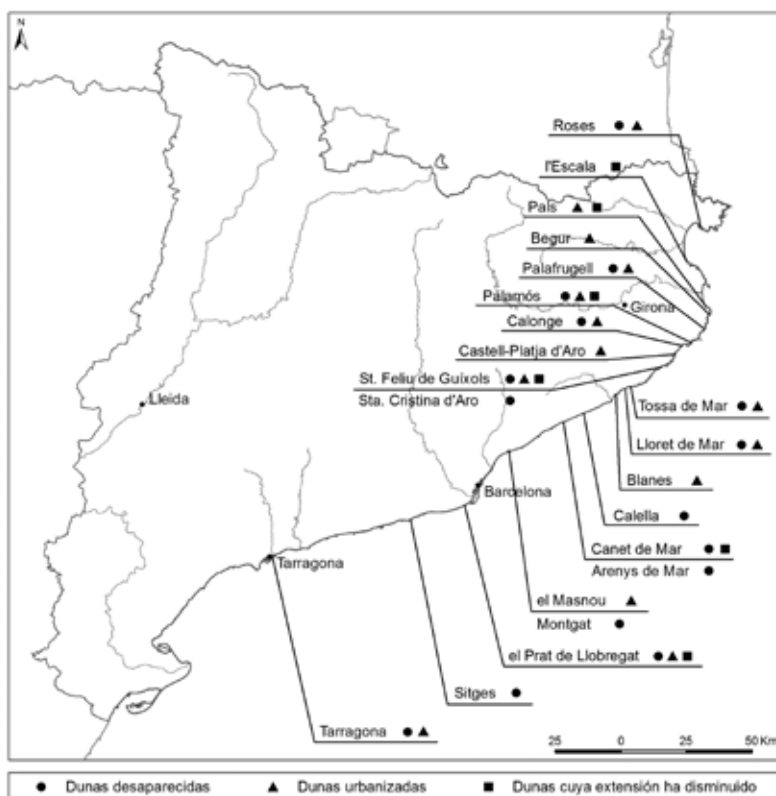


Figura 4. Localización de las dunas observadas en las fotografías antiguas, con indicación del estado actual.

La presencia de dunas en la mayoría de playas indica la existencia de condiciones favorables a su creación. El escaso desarrollo que muestran en muchas fotografías se debe, por un lado, al uso de la playa como un espacio supeditado a las actividades pesqueras y marineras y, por tanto, con una alta frecuentación de personas, junto con una ocupación extensiva de los arenales para almacén y para la construcción y reparación de barcos y de todos los elementos relacionados, lo cual había de limitar el posible desarrollo de las dunas; y, por otro lado, al hecho de que a principios del siglo XX tampoco había una percepción de los sistemas dunares como un elemento valioso del patrimonio natural que pudiera dar lugar a algún tipo de consideración para poner límites a su desaparición.

El mapa de la figura 4 resume la información sobre la presencia de dunas en la costa catalana en el pasado que se ha podido obtener hasta ahora a partir del análisis de fotografías antiguas. Se indica si las dunas han desaparecido, generalmente en las playas urbanas y turísticas, si han sido urbanizadas o si ha disminuido su extensión.



Figura 5. Campo de dunas fijado por pinos en Platja d'Aro, cf. 1920-1925. Fuente: archivo fotográfico de la Diputación de Girona.

3.2. Las dunas en la actualidad

Los sistemas y las morfologías dunares existentes hoy día en la costa catalana son de dimensiones limitadas. Ni siquiera los más amplios y desarrollados se pueden comparar en extensión con sistemas dunares localizados en otros sectores de la costa peninsular mejor alimentados de arenas y con unas configuraciones de vientos más favorables, como, por ejemplo, los de Guardamar del Segura, Cádiz o Doñana. Los sistemas dunares más grandes que se conservan son las dunas interiores localizadas en el Montgrí y en las montañas de Begur, ya mencionadas en la introducción.

En el delta del Ebro se halla el sistema dunar litoral más extenso: los campos de dunas de la punta del Fangar y de Riumar (tabla 2). Sin embargo, dunas de grandes dimensiones, como el domo de arena del inicio de la flecha del Fangar, han desaparecido en los últimos años a causa de la erosión de la costa.

Como se puede observar en la tabla 2, los sistemas dunares más vastos de Cataluña se localizan en solo cinco sectores: el delta del Ebro, el delta del Llobregat, el litoral del Baix Ter, el golfo de Roses y la playa de Torredembarra.

Ha	Dunas interiores	Municipio	Provincia
770	Montañas de Begur	Pals, Begur, Regencós	Girona
510	Montgrí	Torroella de Montgrí, L'Escala	Girona
Ha	Dunas litorales	Municipio	Provincia
51,8	Punta del Fangar	Deltebre	Tarragona
41,3	De Riumar	Deltebre	Tarragona
33	Pals sector sur	Pals	Girona
15,0	Castelldefels	Castelldefels	Barcelona
14,7	Del Prat	El Prat de Llobregat	Barcelona
13,8	De Mas Pinell (La Fonollera)	Torroella de Montgrí	Girona
13,5	De Els Muntanyans	Torredembarra	Tarragona
11,6	De Buda	Sant Jaume d'Enveja	Tarragona
11,2	La Rovina	Castelló d'Empúries	Girona

Tabla 2. Superficie ocupada por los sistemas dunares en Cataluña.

Excepto en estos cinco sectores de costa, el resto de las morfologías dunares presenta unas dimensiones muy reducidas. Como se muestra en la tabla 3, un 60 % de los polígonos dunares digitalizados tiene una superficie inferior a las 0,5 ha, y un 17 % de estos ocupa menos de 0,05 ha.

Ha	Número de dunas	%
0-0,05	41	16,9
0,05-0,5	105	43,4
0,5-1	23	9,1
1-5	52	21,5
5-10	12	5,0
10-20	7	3,3
> 20	3	0,8
Total	243	100

Tabla 3. Rango de superficies ocupadas por las morfologías dunares.

Los diferentes tipos de sistemas y morfologías dunares que se han observado en el litoral de Cataluña están esquematizados en la figura 6. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de la costa catalana está urbanizada y muchas de las formas dunares responden a la presencia de diversas clases de obstáculos artificiales que bordean las playas (espigones, diques, paseos marítimos, construcciones, etc.). Las formas dunares observadas se han clasificado en los tipos dunares siguientes:

a) Barjanes y dunas transversales: los barjanes son dunas libres en forma de media luna que se generan en playas anchas bajo la acción de vientos fuertes; se observan en las playas de Can Comes, de Sant Pere Pescador (Roig, 2008) y de la punta del Fangar (Rodríguez *et al.*, 2009), así como en otras playas del delta del Ebro, pero en nuestra costa no llegan a alcanzar un gran desarrollo vertical. Las dunas transversales se forman en las mismas playas que las anteriores, a menudo por la coalescencia de barjanes que entran en contacto lateralmente. El oleaje y la limpieza de las playas con maquinaria pesada modifican sensiblemente estas morfologías, hasta el punto de hacerlas desaparecer después de un episodio de temporal o en la estación turística.

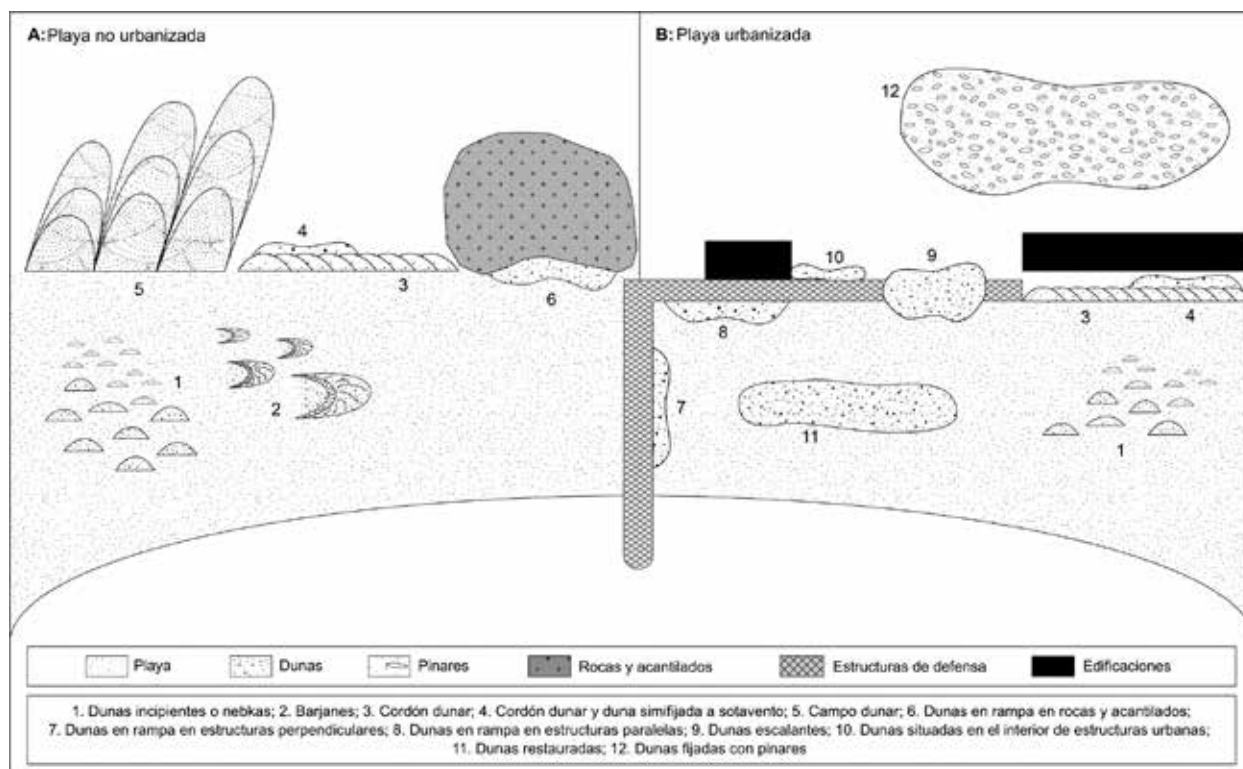


Figura 6. Esquema de los diferentes tipos de dunas que se encuentran actualmente en las playas urbanizadas y no urbanizadas de la costa catalana.

b) Dunas incipientes: pequeños montículos de arena que se forman en la playa alta, a menudo a raíz de la presencia de alguna planta. En muchos casos tienen una existencia efímera y pueden desaparecer bajo la acción del oleaje en los temporales. Se observan en casi todas las playas. Cuando estas dunas se encuentran en una posición más interior, pueden subsistir durante años, al tiempo que sus dimensiones aumentan hasta el punto de que llegan a formar montículos de 1 m o más de altura; en este caso, reciben el nombre de *nebka*. Se pueden observar sobre todo en la playa del Fangar, en el delta del Ebro.

c) Dunas en rampa: son dunas adosadas a estructuras diversas que se hallan en los límites de la playa. Puede tratarse tanto de los muros que la cierran, en el caso de las playas urbanas que limitan con un paseo marítimo, como de espigones perpendiculares a la costa o cualquier otra estructura que se interponga en la dirección del viento. Los ejemplos son numerosos y se pueden encontrar en casi todas las playas, aunque a menudo son de dimensiones reducidas.

d) Dunas trepadoras: en algunas playas limitadas por vertientes o taludes de roca, la arena impulsada por el viento cubre el talud o trepa ladera arriba. Este tipo de duna se puede ver, por ejemplo, en la playa del Riuet de Empúries, en el extremo de levante de la playa de la Fosca y en la cala del Borró, además de un cordón dunar, y es el tipo de duna, hoy urbanizada, que se halla en el cabo de Salou.

e) Crestas dunares aisladas: pueden responder tanto a la dinámica natural y ser el resultado de la evolución y el desarrollo de *nebkas* que se unen y llegan a formar un cordón dunar en el límite interior de la playa como haber sido generadas artificialmente a fin de proteger el terreno adyacente a la playa de la inundación de las olas en los temporales. En algunas playas forman un cordón continuo y paralelo

a la línea de la costa, aunque con discontinuidades grandes o pequeñas producidas por la erosión del viento o por la acción humana “playa de Can Comes (Castelló d’Empúries), playa de la Pletera (Torroella de Montgrí) y playa del Cortal de la Devesa (Sant Pere Pescador)”, y en ocasiones son solo pequeños fragmentos remanentes que sobreviven aislados en playas muy frecuentadas (playa de Sant Pol, en Sant Feliu de Guíxols). La altura de las crestas es muy variable, y va desde aproximadamente 1 m en el cordón dunar de la playa del Prat (El Prat de Llobregat) hasta los 10-12 m de la cresta de la playa de Riumar (delta del Ebro).

f) Cordón dunar con trasduna: en algunas playas, a sotavento del cordón dunar y protegido por este del viento, aún persiste un manto de arena que se extiende unos cuantos metros tierra adentro y donde la colonización vegetal recubre el suelo con más densidad; esto hace que la arena ya no se movilice tan fácilmente, por lo cual este ambiente de trasduna a veces recibe el nombre de *dunas semifijadas*. Cabe mencionar que la trasduna constituye uno de los paisajes dunares que más han retrocedido con la urbanización de la primera línea de costa. Se encuentra aún en la playa de la Rovina, en algunos tramos de las dunas de la playa de Can Comes, en la playa de la Fonollera, en Pals, en el delta del Llobregat, en Torredembarra y en alguna playa del delta del Ebro.

g) Dunas fijadas: como se ha comentado más arriba, entre finales del siglo XIX y principios del XX muchos sistemas dunares fueron fijados mediante la plantación de pinos para evitar la afectación de campos y propiedades por parte de las arenas móviles. En el Empordà se localizan los grandes sistemas dunares interiores del Montgrí y de las montañas de Begur, además de otras dunas fijadas de dimensiones inferiores dispersas por diferentes puntos de la llanura. Las dunas de las playas de Empúries también se fijaron en la misma época, y en lugares como Pals, Platja d’Aro, Blanes y Castelldefels las dunas litorales fijadas acabaron por ser urbanizadas y hoy albergan segundas residencias, campos de golf o campings.

h) Dunas restauradas: en los últimos años, algunos ayuntamientos y administraciones públicas han llevado a cabo acciones para conservar los sistemas dunares de su litoral y, en algunos casos, restaurar morfologías dunares en playas donde estas habían desaparecido. Son acciones que indican un cambio de percepción de estos espacios y que responden al reconocimiento de sus valores ambientales y paisajísticos, pero también al hecho de que las dunas se consideran un excelente mecanismo de defensa y conservación de las playas frente a los efectos negativos que, como se desprende de los informes del IPCC (Hesp, 2007; Tsoar y Blumberg, 2007), puede tener el previsible aumento del nivel del mar.

4. Conclusiones

En lo que se refiere a la información extraída de fuentes documentales, en este trabajo se han revisado principalmente obras geográficas referidas al conjunto del territorio de Cataluña. Si la búsqueda se extiende a monografías locales, es posible que se puedan adquirir nuevos datos que amplíen el conocimiento sobre cuál era el estado de las dunas en el pasado. Así mismo, una investigación más profunda en el campo de las fotografías antiguas podría hacer aumentar el número de playas donde antiguamente había habido dunas, ya que para algunas playas no se han podido localizar imágenes.

El análisis de las fuentes documentales y las fotografías antiguas ha puesto de manifiesto que las dunas eran un elemento común en las playas antes de la generalización del proceso urbanizador de la primera línea de costa. Estaban más desarrolladas en las playas bien alimentadas de arenas, donde se formaban cordones y campos dunares, y menos en el resto, pero se hallaban igualmente presentes.

La situación actual es muy diferente. Las dunas han desaparecido de la mayoría de playas, mientras que en aquellas donde aún persisten han perdido extensión y están sometidas a impactos diversos como resultado de la frecuentación vinculada al turismo. La diversidad de elementos presentes en la playa y su entorno genera también una gran variedad de acumulaciones eólicas de arena, con unas dinámicas y características propias.

La protección y la restauración de los sistemas dunares remanentes es una medida de gestión de costas que se ha generalizado solo recientemente y que aún tiene mucho margen de mejora. La restauración de dunas ha de ser mucho más que la reconstrucción de formas dunares. Debe incorporar también medidas que faciliten una mejor percepción de la fragilidad y los valores del paisaje dunar por parte del usuario de playa. Además de los valores estéticos, naturales y simbólicos que poseen los paisajes dunares, cabe destacar igualmente la función que cumplen en la defensa de la costa ante la inundación provocada por el oleaje de los temporales, así como la de constituir un reservorio de arena en las playas afectadas por la erosión.

En este sentido, tanto los usuarios de playa como los gestores de costas deberían asumir una imagen más dinámica del litoral y de los cambios que los procesos marinos y eólicos comportan, frente a opciones que apuestan por una estabilización “si no anquilosamiento” de formas y procesos. Tampoco se puede pretender conseguir una recreación exacta de los antiguos paisajes dunares naturales en costas hoy urbanizadas. Esto significa que las dunas restauradas pueden ser diferentes de las que había, y quizá más pequeñas, pero no por ello hay que renunciar al mosaico de ambientes y procesos que las caracteriza.

Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación «Explorando la resiliencia de las playas dentro del proceso de cambio global: riesgos y oportunidades (Playa+)», ref. CGL-2013-49061-C3-3-R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Referencias

Baeyens G, Martínez ML. Animal life on coastal dunes: from exploitation and prosecution to protection and monitoring. In: Martínez ML, Psuty N, editors. Coastal dunes: ecology and conservation. Heidelberg: Springer; 2004: pp. 279-296.

Bataller JR, Vilaseca S. Butlletí del Centre Excursionista de Catalunya, 336; 1923.

Bolòs O de. Comunidades vegetales de las comarcas próximas al litoral situadas entre los ríos Llobregat y Segura. Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes. 1967; 38(1): 3-280.

Carreras Candi F, director. Geografia General de Catalunya. Barcelona: Ed. Alberto Martín; 1908-1918.

Chevalier M. El paisatge de Catalunya. Barcelona: Ed. Barcino; 1928.

Cori B. Spatial dynamics of Mediterranean coastal regions. Journal of Coastal Conservation. 1999; 5: 105-112.

Curcó A. La vegetació del delta de l'Ebre (I): Les comunitats dunars (classe Ammophiletea Br.-Bl. et Tx. 1943). Butlletí del Parc Natural del Delta de l'Ebre. 1990; 5: 9-18.

Curcó A. La vegetació del delta de l'Ebre (II): Les comunitats halòfiles i halonitròfiles (Classe Puccinellio Salicornietea i Cakiletea maritimae). Folia Botanica Miscellanea. 1996;10: 113-139.

European Commission. Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L. 1992;206: 7-50.

European Commission. Interpretation Manual of European Union Habitats. EUR 27; 2007.

European Commission. Article 17 Technical Report 2001-2006. European Topic Centre on Biological Diversity. 2008.

Fabbri P. Tourism, recreation and coastal dunes of the Mediterranean. In: Drees JM, editors. Coastal dunes, recreation and planning. Leiden: EUCC; 1997 pp. 18-20.

Font J, Llobet S. El valor geogràfic dels viatges de Francisco de Zamora per Catalunya. Revista de Geografia. 1989;23: 49-59.

Gesti J. El poblament vegetal dels Aiguamolls de l'Empordà: efectes de la creació del Parc Natural sobre la vegetació i propostes per a una gestió dels hàbitats. Universitat de Girona; 2001.

Hesp P. Initiation, evolution, dynamics and geomorphology of transgressive dunefields. ICCD 2007. International Conference on Management and Restoration of Coastal Dunes. Santander: Universidad de Cantabria; 2007.

Hesp P. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. Journal of Arid Environments. 1991; 21: 165-191.

ICGC. Atlas topogràfic-històric de Catalunya 1:50.000. Barcelona; 2012.

La Posta A, Duprè E, Bianchi E. Attuazione della Direttiva Habitat e stato di tutela del territorio e del

mare. Direzione per la Protezione della Natura. Roma: Palombi; 2008.

Madoz P. Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar. Madrid: Imp. del Diccionario; 1845-1850.

Maun MA. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany*. 1998;76: 713-738.

McLachlan A, Brown AC. *The Ecology of Sandy Shores*. Burlington: Academic Press; 2006.

Moreno-Casasola P. Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. *Vegetatio*. 1986; 65: 67-76.

Perdigó MT, Papió C. La vegetació litoral de Torredembarra. *Collectanea Botanica*. 1985; 16:215-226.

Panareda JM, Pintó J. Dinámica de las plantas exóticas en los espacios dunares del delta del Llobregat (Barcelona). In: De la Riva J, Ibarra P, Montorio R, Rodrigues M, editors. *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación: 1793-1802*. Universidad de Zaragoza-AGE; 2015.

Pino J, Seguí JM, Alvarez N. Invasibility of four plant communities in the Llobregat delta (Catalonia, NE of Spain) in relation to their historical stability. *Hydrobiologia*. 2006; 570: 257-263.

Pintó J. El paisatge litoral de dunes i maresmes de Torredembarra. In: UB, editors. *Professor Joan Vilà-Valentí, el seu mestratge en la geografia universitària*. Barcelona: Servei Publicacions UB; 1997. pp. 1515-1528.

Pintó J, Panareda JM. Changes in coastal dunes of Catalonia in the last 150 years. In: ICCD 2007. *International Conference on Management and Restoration of Coastal Dunes*. Santander: Universidad de Cantabria; 2008.

Pintó J, Martí C, Fraguell, RM. Assessing current conditions of coastal dune systems of Mediterranean developed shores. *Journal of Coastal Research*. 2014; 30(4): 832-842.

Pintó J, Panareda JM, Martí C. Fitogeografía de las dunas de la costa catalana. In: Cunill R, Pèlachs A, Pérez-Obiol R, Soriano JM, editors. *Actas del VII Congreso Español de Biogeografía*. Barcelona: UAB; 2012. pp. 132-138.

Rodríguez I, Sánchez García MJ, Montoya I, Gómez Ortiz D, Martín T, Serra J. Internal structure of the aeolian sand dunes of El Fangar spit, Ebro Delta (Tarragona, Spain). *Geomorphology*. 2009; 104: 238-252.

Roig FX. *Catalogació i diagnosi dels sistemes dunars de la Costa Brava, Alt Empordà*. Diputació de Girona; 2008.

Ruocco M, Bertoni D, Sarti G, Ciccarelli D. Mediterranean coastal dune systems: Which abiotic factors have the most influence on plant communities?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2014;149: 113-122.

Solé Sabarís LI, director. *Geografia de Catalunya*. Barcelona: Ed. Aedos; 1958-68.

Tsoar H, Blumberg DG. Management of stable and active coastal sand dunes. In: ICCD 2007. *International Conference on Management and Restoration of Coastal Dunes*. Santander: Universidad de Cantabria; 2007.

Valverde A. Evolución histórica, origen y significación de la pineda litoral del delta del Llobregat (siglos XVI-XIX). *Spartina*. 1998; 3: 63-101.

Vigo J, Carreras J, Ferré A. Manual dels hàbitats de Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge; 2005.

Wilson JR, Sykes MT. Is zonation on coastal sand dunes determined primarily by sand burial or by salt spray? A test in New Zealand dunes. *Ecology Letters*. 1999; 2: 233-236.

Zamora F de. Diario de los viajes hechos en Cataluña (1785-1790). Barcelona: Curial, 1973.

Restauración ecológica de las dunas costeras: el caso de la playa del Guincho (Portugal)

Vasco Silva¹, Irene Correia², Alexandre Neto³, José Romana² y Sara Saraiva²

¹ Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

² Departamento de Áreas Naturales, Cascais Ambiente – Empresa Municipal de Ambiente de Cascais, Alcabideche, Portugal

³ Direcção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos, Algés, Portugal

1. Resumen

Las dunas de la playa del Guincho representan una pequeña parte del complejo dunar del Guincho-Oitavos, situado en el Parque Natural de Sintra-Cascais (Portugal). Se trata de un sistema expuesto a una fuerte presión antrópica que ha provocado su degradación y con unos valores naturales que requieren la adopción de medidas de restauración y protección. Las actuaciones de gestión del hábitat han tenido por objeto fundamental mitigar y gestionar los impactos sobre las dunas mediante la instalación de captadores de arena (para reducir la velocidad del viento y favorecer el depósito de arena), la plantación de especies características (p. ej., *Ammophila arenaria*) y la eliminación de las especies alóctonas (p. ej., *Acacia* sp. pl.). El material de construcción de los captadores se decidió a partir de la bibliografía y se instaló en el primer frente dunar, perpendicularmente a la dirección del viento dominante. Los niveles de arena acumulados por los captadores fueron sometidos a monitorización. Cuatro años después de la intervención, las especies autóctonas plantadas están bien establecidas y la vegetación natural crece espontáneamente, aunque ha sido necesario sustituir algunas plantas y partes de los captadores. En estos momentos prosigue tanto la modelización de la acumulación de arena como la monitorización del establecimiento de la vegetación.

2. Introducción

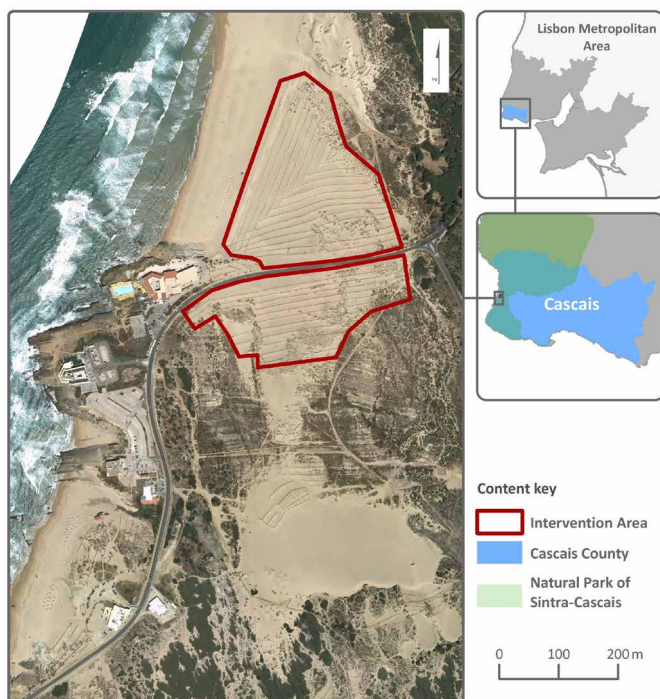


Figura 1. Mapa de situación del área de intervención en el sistema dunar del Guincho-Cresmina, Cascais (Portugal).

Las dunas del Guincho-Cresmina representan una pequeña parte del complejo dunar del Guincho-Oitavos, situado en el Parque Natural de Sintra-Cascais, Portugal (figura 1).

Este sistema dunar, conocido como el campo dunar eólico de Cresmina-Oitavos, es un tanto particular, dado que la arena procedente de las playas del Guincho y de Cresmina vuelve al mar más al sur, entre Oitavos y Guia, después de migrar sobre la plataforma rocosa de Cabo Raso (Roxo *et al.*, 1978).

Las dunas del Guincho-Cresmina constituyen un sistema activo debido a la constante movilización de partículas arenosas por los vientos dominantes (Rebêlo, 1992). En la zona se dan unos patrones de vientos complejos, dado que dominan los de componente N y NO (Alcoforado, 1984). La existencia de barreras impermeables (p. ej., restaurantes,

carretera), por otra parte, ha estrechado el pasillo de deflación y, con ello, ha acelerado su dinámica. Al aumentar la velocidad del viento, el depósito de sedimentos ha pasado a efectuarse en una zona más alejada de la línea de costa, lo que se ha traducido en la consiguiente disminución de la superficie de playa (ICN, 2003) (figura 2). Estudios realizados revelan que la duna de Cresmina avanza en dirección norte-sur a un ritmo de unos 10 m anuales (Rebêlo *et al.*, 2002).



Figura 2. La duna de Cresmina y la playa del Guincho, Cascais.

Son datos que, a largo plazo, pueden tener efectos dramáticos en lo que respecta a la pérdida de suelo cultivable, infraestructuras y viviendas. Los cordones dunares son estructuras geológicas frágiles pero muy importantes, dado que desempeñan un papel de protección de las tierras interiores frente al aumento del nivel del mar (Taborda *et al.*, 2010; Van der Meulen y Salman, 1996).

Al ser sistemas dinámicos, sus hábitats naturales presentan un equilibrio ecológico delicado, con un gradiente de suelo pobre (arenas) y condiciones climáticas adversas (vientos fuertes cargados de spray salino) (Martins *et al.*, 2013). Además, asociada al sistema dunar existe una flora y una fauna rica y diversificada. Se trata de un sistema sujeto a una fuerte presión antrópica que ha provocado su degradación y con unos valores naturales que requieren medidas de restauración y protección, como se apunta en los Planes de Gestión de Zonas Costeras y Parques Naturales (ICN, 2003; Taveira Pinto, 2004).

El principal objetivo de este estudio es caracterizar las dunas del Guincho-Cresmina y analizar la respuesta a la colocación de captadores sobre las dunas embrionarias y primarias para favorecer el depósito de arena y la recuperación de la vegetación (Correia *et al.*, 2014). La intervención realizada tenía por objeto fundamental restaurar y gestionar los impactos sobre el sistema playa-duna mediante la implementación de acciones concretas de gestión del hábitat, como, entre otras, la instalación de pasarelas elevadas de madera para conectar la playa con el Centro de Interpretación (Silva *et al.*, 2012). En lo que atañe a la monitorización del depósito de arena, solo se analizó el sector norte de la playa del Guincho (figura 1).

2.1. Experiencias previas de restauración dunar en Portugal y caracterización del método aplicado

En la costa occidental de Portugal y en el Algarve, donde confluyen una erosión litoral severa y las amenazas vinculadas al turismo y la urbanización (Taveira Pinto, 2004), para rehabilitar las dunas se ha recurrido tradicionalmente a la revegetación con especies autóctonas (Reis *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2011) o a la técnica conocida como *ripado móvel* (Martins, 1989). Recientemente se utilizaron postes de madera tratada unidos mediante malla de tela metálica para retener la arena en el campo dunar de Peniche-Baleal (Borges *et al.*, 2009). El método de retención de arena empleado en la playa del Guincho (ACN, 2011) no tenía precedentes en Portugal. Sin embargo, se asemeja a las técnicas de restauración dunar aplicadas en España (Gómez-Pina *et al.*, 2002). Los captadores estructurales de mimbre seco utilizados se caracterizan por su bajo coste, fácil adquisición y sencillo montaje, además de no plantear ningún riesgo para el medio ambiente. Este sistema contrarresta la erosión eólica y da lugar a una acumulación más extensa y homogénea de arena, con lo que se obtiene una topografía mucho más aerodinámica y estable (Gallego Fernández *et al.*, 2003). Sustituye el papel que la vegetación pionera desempeña naturalmente en la formación de las dunas, y su función consiste en reducir la velocidad del viento y, por consiguiente, disminuir el transporte de arena, favoreciendo la sedimentación de la misma en una altura y una anchura superiores. Con estos captadores flexibles se consigue una deposición de arena más regular que tiene lugar en la vertiente de sotavento, lo que permite la creación de dunas con el perfil característico de la costa mediterránea (Ley *et al.*, 2007). El uso de este tipo de materiales, unido a la plantación, ha demostrado ser más adecuado para la restauración dunar que otras técnicas utilizadas anteriormente en Portugal.

2.2. Caracterización biofísica

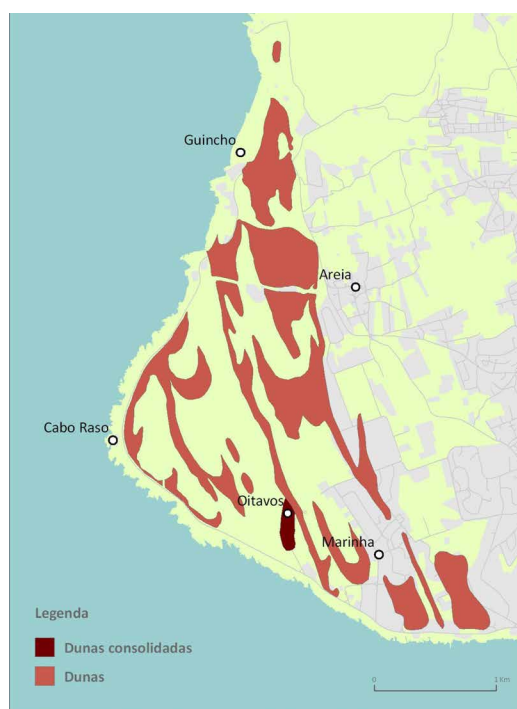


Figura 3. Campo dunar eólico y dunas parabólicas del Guincho-Oitavos. Adaptado de Roxo *et al.* (1978).

El sistema dunar costero del Guincho-Cresmina es bastante particular, porque la arena de estas playas vuelve al mar más al sur, entre Oitavos y Guia, después de migrar por la plataforma rocosa de Cabo Raso (figura 3). Se trata de un sistema activo, semiabierto y extremadamente inestable debido a la morfología costera, la orientación y la constante movilización de arena por el viento dominante (NO-SE) (Rebêlo, 1992).

El sistema dunar se superpone a los estratos de caliza cretácica de la plataforma rocosa de Cabo Raso (Ramalho *et al.*, 2001). El área de intervención corresponde a la entrada del pasillo de deflación, donde por razones morfológicas la velocidad del viento es mayor y la vegetación natural tiene dificultades para establecerse. La cantidad de arena depende del transporte de deriva litoral y de las fluctuaciones del nivel de la playa. En la zona de estudio se puede observar una mayor disponibilidad y transporte de arena durante el verano. Antes de la intervención se constató la formación de ripples de viento, dunas tabulares y dunas en montículos o *hummocks* (Hesp, 2002; Rebêlo, 1995).

La distribución espacial de la vegetación natural está intrínsecamente relacionada con la dinámica del sistema dunar (Roxo, 1978). La vegetación dunar, por consiguiente, está bien adaptada a las condiciones existentes de suelos secos y pobres en nutrientes y de fuertes vientos (Alcoforado, 1984). Las estructuras de las comunidades vegetales no alteradas que mostraron una diversidad florística elevada están incluidas como hábitats importantes en la red ecológica Natura 2000 (Martins *et al.*, 2013). Partiendo de un modelo (predictivo) simplificado de correspondencias entre geología (dunas y playas consolidadas en el Cuaternario), suelos arenosos, bioclimatología (piso termomediterráneo) y las comunidades vegetales remanentes, se determinó la posible vegetación natural de la playa del Guincho (Costa *et al.*, 1998; ICN, 2003). En la orilla del mar, expuesta al viento y ocasionalmente sumergida, solía darse vegetación halonitrófila formada por *Salsola kali-Cakiletum maritimae*, cuya primera comunidad dunar se perdió debido a la elevada presión antrópica; puntualmente es posible identificar *Cakile maritima*. En la duna embrionaria se pueden encontrar formaciones de *Elytrigia juncea* subsp. *boreoatlantica* (*Elytrigietum junceo-boreoatlantici*), localizadas puntualmente en la base de lo que queda de las dunas primarias (hábitat 2110). En la duna primaria del Guincho hay comunidades de *Ammophila arenaria* subsp. *arundinacea*, *Lotus creticus*, *Otanthus maritimus*, *Eryngium maritimum* y *Pancratium maritimum* (*Loto cretici-Ammophiletum australis*) (hábitat 2120), principalmente en los cordones dunares presentes en todo el sistema. En las arenas de las dunas estabilizadas del Guincho, la etapa madura de la vegetación natural está formada por matorral de *Juniperus turbinata* (*Osyrio quadripartitae-Juniperetum turbinatae*) (hábitat 2250) (Costa *et al.*, 2000; Martins *et al.*, 2013). Cuando las arenas son menos cohesivas aparece una comunidad de *Armeria welwitschii* (hábitat 2130), con un pastizal primocolonizador anual de *Tuberarietea guttatae* en los claros. En tramos de la línea de costa, expuesta a largos periodos de sequía, se da *Tamarix africana* O *Tamarix gallica* (*Polygono equisetiformis-Tamaricetum africanae*), característica de los suelos subsalinos (ACN, 2011). En términos de conservación, se ha observado que la comunidad con mayor diversidad de especies de plantas y menor resiliencia es la de *Armeria welwitschii* (Martins *et al.*, 2013) (figura 4).



Figura 4. Especies de plantas y vegetación natural de las dunas del Guincho-Cresmina.

El gradiente de vegetación mar-tierra debería reflejar la zonación de la vegetación costera desde las comunidades anuales de playa hasta las dunas estabilizadas con cubierta de tipo matorral, pero debido a los efectos de las perturbaciones (p. ej., disseminación de especies exóticas, pisoteo, urbanización) se produce fragmentación y regresión (Van der Meulen y Salman, 1996).

2.3. Acciones de gestión del hábitat

En lo que atañe a la restauración ecológica de las dunas de la playa del Guincho y el restablecimiento de la vegetación, se desarrollaron tres acciones principales de gestión del hábitat, como se refleja en la tabla 1. Para establecer la densidad y el material constructivo así como la distancia entre filas de captadores se tomó como base el manual de restauración de dunas costeras de la península Ibérica (Ley *et al.*, 2007). El método de erradicación y el patrón espacial de plantación se eligieron basándose en la bibliografía y en la experiencia previa de los autores (ACN, 2011).

Orden	Acción	Procedimiento
1	Erradicación de especies invasoras	Arranque manual de plántulas y plantas pequeñas con eliminación del sistema radicular (p. ej., <i>Carpobrotus edulis</i>) y destocoado en el caso de las plantas adultas (<i>Acacia pycnantha</i> , <i>A. retinodes</i>).
2	Instalación de captadores en la duna embrionaria y primaria	Realizados con varas de mimbre seco de 1,80 m de longitud (enterradas hasta un cuarto), en filas paralelas separadas 8-10 m entre sí, perpendiculares a la dirección del viento dominante, clavados verticalmente en las superficies no vegetadas y distribuidos homogéneamente con una densidad de 3 kg por metro lineal.
3	Plantación de especies herbáceas perennes dunares	Plantación de <i>Elytrigia juncea</i> ssp. <i>boreoatlantica</i> en la duna embrionaria y de <i>Ammophila arenaria</i> ssp. <i>arundinacea</i> , <i>Lotus creticus</i> y <i>Eryngium maritimum</i> en la duna primaria durante el reposo vegetativo (de noviembre a febrero), con una separación de 1 m.

Tabla 1. Acciones de gestión del hábitat adoptadas en las dunas del Guincho, por orden de implementación.

Además, en la zona de estudio se instalaron cerramientos así como pasarelas de madera elevadas para evitar el pisoteo y el acceso de vehículos, y se colocaron bancos de madera, papeleras y paneles informativos del sistema dunar del Guincho-Cresmina para contener la afluencia de visitantes (Correia *et al.*, 2014).

2.4. Recogida y análisis de datos

Para empezar a monitorizar los niveles de acumulación de arena se utilizaron 52 postes de madera tratada en autoclave de 140 x 20 x 10 cm (longitud, anchura y grosor) que previamente se graduaron y pintaron con aceite protector para mejorar su durabilidad. A continuación, se colocaron en la zona de estudio, en filas

paralelas a los captadores desde la playa hacia el interior y con un espacio de separación de unos 12 m entre fila y fila. Los postes se distribuyeron uniformemente en filas alternas con objeto de cubrir totalmente la zona y, a la vez, disminuir el tiempo necesario para realizar las mediciones (C. Ley, com. pers.). Todos los postes se referenciaron espacialmente con GPS y, luego, mediante levantamiento topográfico para mejorar la precisión de sus coordenadas planimétricas y altimétricas.

El proceso de medición dio comienzo en noviembre de 2010 y se prolongó hasta diciembre de 2012. Durante este periodo, los postes se monitorizaron mensualmente in situ y se registraron los niveles de acumulación de arena. Todos los postes robados, rotos o dañados por actos vandálicos se repusieron en el menor tiempo posible. En parte de los postes se realizaron dos levantamientos con GPS diferencial (en noviembre de 2012 y en noviembre de 2013) para medir las diferencias. Todas las mediciones de los postes se registraron en una hoja de cálculo, clasificadas por fechas y con sus coordenadas planimétricas. Las continuas desapariciones y actos vandálicos de que fueron objeto los postes durante el periodo de monitorización impidieron llevar un registro continuo de la acumulación total de arena en cada poste. Este método resultó apropiado para ayudar a determinar la evolución de la duna, pero no proporcionó estimaciones fiables en cuanto al volumen de arena transportado, como sí lo hizo, en una segunda fase, la medición con GPS diferencial. Para superar esta dificultad, la altura (m) de la deposición de arena se calculó mensualmente para cada poste con relación a la medición previa, sin tener en cuenta las situaciones en que no se disponía de datos por falta de poste. Utilizando un script de Sistema de Información Geográfica (SIG) (<http://www.qgis.org>), se elaboró un modelo de análisis espacial (figura 5) para crear las superficies de deposición previstas del área total de estudio correspondientes a cada una de las fechas de medición y sumarlas por periodos prolongados a efectos de comparación (2010-2012 y 2012-2013). Para crear superficies lisas asignadas a los puntos de medición se optó por el método de interpolación por splines (Correia *et al.*, 2014).

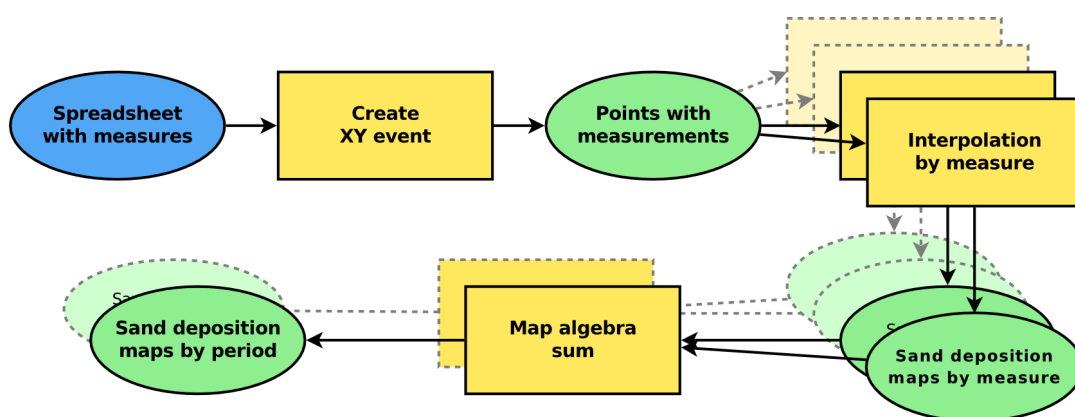


Figura 5. Procedimiento de análisis de datos con SIG. Diagrama creado con Dia (<http://dia-installer.de>).

Al término de cada año se planificaron nuevas acciones de gestión del hábitat, entre ellas la colocación de captadores en el primer frente dunar, el control de las especies exóticas invasoras así como la plantación y/o replantación de *Ammophila arenaria*. También se registraron de forma resumida datos sobre el desarrollo y establecimiento de vegetación espontánea y las especies plantadas.

2.5. Acciones y resultados de la monitorización

Los trabajos empezaron con la eliminación manual/mecánica, con aplicación de herbicidas y arranque manual, de las especies exóticas invasoras (primera acción, tabla 1). La segunda acción (tabla 1) consistió en la instalación de los captadores, proceso que se llevó a cabo a finales de octubre de 2010 (figuras 6 y 7). Después del periodo de máxima acumulación de arena (verano) se llevó a cabo la tercera acción, con la plantación de especies dunares (tabla 1). Con esta acción se pretendía apoyar el proceso natural de establecimiento de otras especies, como *Pancretium maritimum*, *Otanthus maritimus* y *Artemisia crithmifolia*.



Figura 6. Acciones de gestión del hábitat en las dunas del Guincho.

Figura 7. Captadores de la primera intervención (noviembre de 2010) en la playa del Guincho.



Figura 8. Deposición de arena sobre los captadores en diciembre de 2011.

Cuando los captadores perdían su función por enterramiento, en los inviernos siguientes (entre diciembre y enero) se colocaban otros nuevos, utilizando el mismo material y técnica, encima del depósito de arena de las tres primeras filas, con objeto de seguir acumulando arena (figura 8).

Tras la primera instalación de captadores se estableció un periodo de medición de un año (de noviembre de 2010 a diciembre de 2011) (figura 9). Durante este tiempo, se observó que la incidencia máxima de la deposición de arena en el frente del cordón dunar alcanzó una altura de 197 cm, mientras que la mínima se situó en -25 cm, lo que por término medio representa 16 cm de deposición de arena (figuras 7 y 8).

A la segunda intervención, que tuvo lugar en enero de 2012, le siguió un segundo periodo de medición (de enero a diciembre de 2012) (figura 9) en que la incidencia máxima de la deposición de arena alcanzó los 82 cm de altura en el frente del cordón dunar y la mínima fue de unos -27 cm, lo que supone una deposición media de 3 cm. En el frente dunar, extremadamente móvil, la vegetación plantada se perdió en parte debido a un desarrollo inferior en comparación con el movimiento de la duna, que enterró las plantas. Las plantas de *Ammophila arenaria* no consiguieron adaptarse a la repentina deposición de arena. En la plantación de la depresión intradunar también se observó pérdida de arena de la zona radicular.

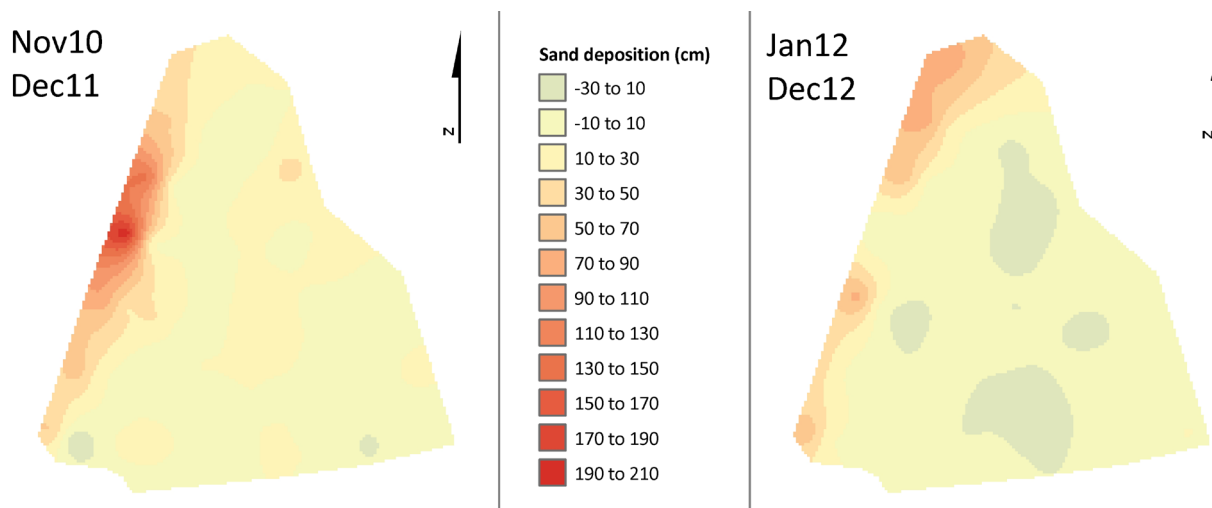


Figura 9. Superficies de deposición previstas.



Figura 10. Depósito de arena sobre los captadores a principios de enero de 2013.

La tercera intervención se llevó a cabo en enero de 2013, seguida de una medición con GPS diferencial (noviembre de 2013) (figura 10). El mapa y los perfiles se basaron en datos precisos adquiridos por medición topográfica (2010) y GPS diferencial (noviembre de 2012 y 2013) (figura 11).

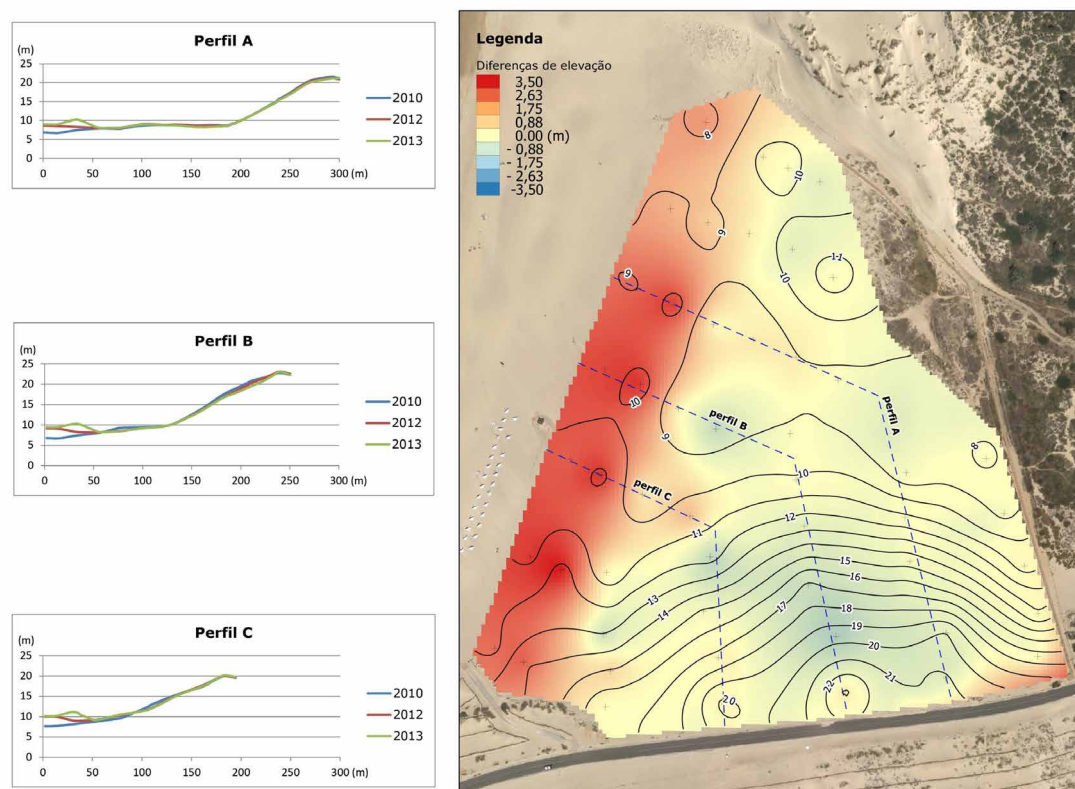


Figura 11. Evolución de la duna del Guincho 2010-2013.

La tabla 2 indica la cantidad de plantas y captadores que se utilizó en el proyecto de restauración dunar entre 2010 y 2013, así como la implementación anual de acciones de gestión del hábitat.

Cantidad	Acciones
5,8 ha	Plantación de especies herbáceas perennes dunares: <i>Elytrigia juncea</i> subsp. <i>boreoatlantica</i> <i>Ammophila arenaria</i> subsp. <i>arundinacea</i> <i>Lotus creticus</i> <i>Eryngium maritimum</i>
8640 plantas	
42 000 plantas	
7182 plantas	
702 plantas	
10 km	Captadores de arena

Tabla 2. Superficie plantada, número de plantas y cantidad de captadores instalados en las dunas del Guincho.

La cuarta y última intervención tuvo lugar en enero de 2014, seguida de una medición con GPS diferencial. Este estudio se está llevando a cabo en el marco de una tesis de máster todavía en proceso, y los datos del mismo no se comentan aquí.

Discusión

Los niveles de arena acumulados por los captadores se monitorizaron mediante postes distribuidos uniformemente por toda la zona de intervención. Durante los primeros 12 meses se registró una deposición de arena de aproximadamente 1,7 m de altura a sotavento de la primera fila (figura 8). En el segundo año

se alcanzaron 82 cm, y en el tercero los registros evidencian una acumulación de arena de 0,71 cm. Los resultados demuestran que, una vez transcurridos los tres primeros años, la cresta de la duna primaria había alcanzado una altura de 3,5 m. Después de producirse la deposición de arena, se detectaron ciertos errores comunes asociados a la instalación de las pasarelas de madera elevadas, dado que cuando se extienden sobre la misma acaban quedando enterradas. La elevada susceptibilidad de los postes al vandalismo, pese a la colocación de cercados y puertas, hizo cuestionar el método de medición de la arena debido a su influencia en los resultados de la monitorización. Esto significa que es necesario buscar otro método de medición. La zona de plantación en el primer frente dunar fue excesiva y prematura; debió haberse realizado gradualmente, tras un estudio preliminar de la deposición de arena para determinar cómo reaccionaría el sistema a la intervención. La vegetación plantada, por otra parte, está bien establecida, aunque ha sido necesario reponer algunas plantas tras este periodo de un año. La vegetación natural crece espontáneamente en las tres primeras filas, con presencia de *E. juncea* subsp. *boreoatlantica* y *Cakile maritima*. En las últimas filas del sistema se observó cierta estabilización. La reducción de las perturbaciones, unida a la plantación, condujo a un amplio establecimiento de *Lotus creticus*, situación que ya se había observado en Vila Nova de Gaia con plantas leguminosas de *Medicago marina* (Laranjeira y Pereira, 2013).

Este método consistente en la retención de arena, la colocación de vallados y la revegetación —lo que se conoce como técnicas pasivas (Lithgow *et al.*, 2013)— parece ser una alternativa viable para atenuar los problemas de erosión en los sistemas dunares costeros de Portugal. Los captadores formados por varas de mimbre seco pueden intensificar el proceso de desarrollo de la duna delantera y pueden considerarse como un método eficaz y fiable para promover la recuperación del cordón dunar. Recientemente, otros proyectos llevados a cabo en Portugal en los que se han utilizado los mismos materiales y técnicas mixtas, como el proyecto ReDuna en la playa de São João da Caparica (Almada) (P. Pinto da Silva, com. pers.), confirman los buenos resultados obtenidos en el Guincho.

Es preciso trazar planes de gestión para garantizar la eficacia de las acciones. Lograr y fomentar acciones de restauración de éxito solo es posible cuando las decisiones se toman teniendo en cuenta el conocimiento científico y las necesidades sociales, de modo que el próximo objetivo es modelizar el perfil necesario de acumulación de arena en la playa del Guincho sin entrar en conflicto con la presencia de la carretera (N247).

Agradecimientos

Promovido por el Ayuntamiento de Cascais en asociación con el Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), el proyecto «Rede de Visitação e de Interpretação do Parque Natural de Sintra-Cascais», incluido en el ámbito temático «Gestão Ativa de Espaços Protegidos e Classificados – Aviso 1», fue cofinanciado al 50 % por el FEDER bajo los POR Lisboa, junto con el Programa de Intervención Turística (PIT) (código de operación LISBOA-02-2507-FEDER-000209). Los datos cartográficos básicos fueron proporcionados por el Ayuntamiento de Cascais. Los autores que han participado en el proyecto, además, tuvieron ocasión de asistir al «Curso de Restauração Ecológica de Sistemas Dunares» organizado en el año 2010 en Lisboa por la Sociedade Portuguesa de Ecologia (SPECO). Los resultados obtenidos se deben asimismo a los contactos ulteriores con Carlos Ley (Ecología Litoral, SL, Madrid), que ha estado trabajando durante más de 30 años en la restauración dunar en España y a quien queremos expresar nuestro agradecimiento por habernos inspirado. Damos las gracias, asimismo, a Bernardo Barros e Cunha por sus comentarios sobre la versión inglesa del manuscrito.

Referencias

- ACN. Projeto de Recuperação da Duna da Cresmina. Guia da visita de estudo do 2º Curso de Restauração Ecológica de Sistemas Dunares organizado pela SPECO. Cascais: Agência Cascais Natura. 2011; pp. 10.
- Alcoforado MJ. Os ventos dominantes em torno da Serra de Sintra. A deformação das árvores. *Finisterra*. 1984;19(38):137-169.
- Borges B, Paixão R, Gusmão MF, Ramos Pereira A. O campo dunar Peniche Baleal: vulnerabilidade e ordenamento. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*. Braga: APGeom. 2009; 6: 213-218.
- Correia I, Neto A, Silva V, Saraiva S, Romana J, Melo JC, Ley C, Cruz CS. Ecological restoration of Guincho-Cresmina coastal sand dune. In: Silva JM, Antunes CR, Bifulco C, editors. *Cascais World Forum 2012. II Congress APENA - VII Congress AEIP - VII Congress EFIB. Soil Bioengineering and Land Management – New Challenges*. Lisboa: Associação Portuguesa de Engenharia. 2014; pp. 281-288.
- Costa JC, Aguiar C, Capelo J, Lousã M, Neto C. Biogeografia de Portugal continental. *Quercetea*. 1985; 0:5-56.
- Costa JC, Lousã M, Capelo J, Espírito-Santo MD, Izco J, Arsénio P. The coastal vegetation of the Portuguese Divisory Sector: dunes, cliffs and low-scrub communities. *Finisterra*. 2000; 69:69-93.
- Gallego Fernández JB, García Mora MR, Vega de Seoane CL. Restauración de ecosistemas dunares costeros. In: Rey Benayas JM, Espigares Pinilla T, Nicolau Ibarra JM, editors. *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Colección Aula Abierta 20*. 2003; pp. 157-172.
- Gómez-Pina G, Muñoz-Pérez JJ, Ramírez JL, Ley C. Sand dune management problems and techniques, Spain. *Journal of Coastal Research*. 2002; 36:325-332.
- Hesp PA. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*. 2002; 48:245-268.
- ICN. Plano de Ordenamento do Parque Natural Sintra-Cascais – Relatório. Instituto da Conservação da Natureza, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Lisboa: Instituto da Conservação da Natureza, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. 2003.
- Laranjeira MM, Ramos-Pereira A. Substituição local de *Ammophila arenaria* por *Medicago marina* em dunas frontais após pisoteio. *Finisterra*. 2013; 48(95):61-81.
- Ley C, Gallego-Fernández JB, Vidal C. *Manual de restauración de dunas costeras*. Santander: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas. 2007.
- Lithgow D, Martínez ML, Gallego-Fernández JB, Hesp PA, Flores P, Gachuz S, Rodríguez-Revelo N, Jiménez-Orocio O, Mendoza-González G, Álvarez-Molina, LL. Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*. 2013; 199: 214-224.
- Martins F. Morphology and management of dunes at Leiria district, Portugal. In: Van der Meulen F, Jungerius PD, Visser J, editors. *Perspectives in coastal dune management*. The Hague: SPB Academic Publishing. 1989; pp. 81-90.

- Martins MC, Neto C, Costa JC. The meaning of mainland Portugal beaches and dunes' psammophilic plant communities: a contribution to tourism management and nature conservation. *Journal of Coastal Conservation*. 2013; 17(3):279-299.
- Pereira H, Pires I, Gomes N, Garcia J, Santos R. Resultados preliminares do projeto de Recuperação do Cordão Dunar da Ria Formosa, Algarve, Portugal. (DVD). Lisboa. 2001; pp. H84-H87.
- Ramalho MM, Rey J, Zbyszewski G, Alves CAM, Palácios T, D'Almeida FM, Costa C, Kullberg MC. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000. Notícia Explicativa da Folha 34-C Cascais. Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro. 2001.
- Rebêlo LP. Estudo do Sistema Dunar do Guincho-Cresmina. Relatório de Progresso. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal. 1992; pp. 72.
- Rebêlo LP. Dinâmica do sistema dunar do Guincho Oitavos. Trabalho de síntese para acesso à categoria de Assistente de Investigação. Lisboa: Departamento de Geologia Marinha - Instituto Geológico e Mineiro. 1995.
- Rebêlo LP, Brito PO, Monteiro JH. Monitoring the Cresmina dune evolution (Portugal) using differential GPS. *Journal of Coastal Research*. 2002; 36:591-604.
- Reis CS, Carmo JA, Freitas H. Learning with Nature: A Sand Dune System Case Study (Portugal). *Journal of Coastal Research*. 2008; 24(6):1506-1515.
- Roxo JG, Amado AC, Cruz CS. Pinhal da Marinha, Capacidade Biofísica de Utilização. Relatório. Lisboa: Serviços de Estudos de Ambiente. 1978.
- Silva V, Saraiva S, Romana J, Neto A, Correia I, Cardoso Melo J. Projeto: Recuperação do sistema dunar Guincho-Cresmina. *Ecologi@*. 2012; 5:88.
- Taborda R, Andrade C, Marques F, Freitas MC, Rodrigues R, Antunes C, Pólvora C. Sector Zonas Costeiras. In: Santos FD, Cruz, MJ, coordinators. Plano Estratégico de Cascais face às Alterações Climáticas. Laboratório SIM, Câmara Municipal de Cascais. 2010: pp. 48.
Available: <http://www.siam.fc.ul.pt/PECAC/pdf/zonas-costeiras.pdf>. 2010
- Taveira Pinto F. The practice of coastal zone management in Portugal. *Journal of Coastal Conservation*. 2004;10: 147-158.
- Van der Meulen F, Salman AHPM. Management of Mediterranean coastal dunes. *Ocean & Coastal Management*. 1996; 30(2-3):177-195.

La Devesa de l'Albufera de Valencia: un caso de restauración dunar

Amelia Quintana Trenor¹, Antonio Vizcaíno Matarredona¹, Francisco Collado Rosique¹,
Joan Miquel Benavent Olmos¹, Jesús Soriano González²

¹ Servicio Devesa-Albufera del Ayuntamiento de Valencia

² Oceanógrafo y gestor de medioambiente y territorio

1. Introducción

La Devesa de l'Albufera de Valencia es un espacio dunar litoral de 850 ha de superficie que se localiza al sur de la capital valenciana. Actualmente propiedad del Ayuntamiento de Valencia, fue de titularidad real desde el siglo XIII hasta finales del siglo XIX, cuando pasó a pertenecer al Estado. En 1905, el Ayuntamiento de Valencia inició las negociaciones para su adquisición, que culminaron en 1948, fecha en la que fue dada de alta en el inventario municipal junto con el lago de la Albufera de Valencia. Desde 1986, ambos espacios forman parte del Parque Natural de l'Albufera.

La Devesa se localiza en el tramo septentrional de la restinga que se formó en el holoceno y que cerró el antiguo golfo de Valencia creando la laguna de la Albufera. Esta restinga, que se extiende a lo largo de 30 km de longitud entre la desembocadura del cauce nuevo del río Turia y el cabo de Cullera, estaba originariamente constituida por un importante campo dunar del cual quedan hoy escasas representaciones. La Devesa se caracteriza por ser actualmente el sector mejor conservado de este sistema dunar. Con la expansión del regadío, muchos

de los arenales de la restinga fueron transformados en huertas que, después, con el desarrollismo de la segunda mitad del siglo XX, se destinaron en gran parte a usos residenciales, produciéndose un importante retroceso de las formaciones dunares de toda la restinga. Este ámbito mantuvo su condición natural, en parte, gracias a la connotación de ser patrimonio real o público. Sin embargo, en 1965, en pleno *boom* turístico español, se inició un proceso de urbanización que alteró gravemente sus ecosistemas y que estuvo a punto de destruir la Devesa entendida como un espacio natural.

La Devesa es un espacio natural de reducidas dimensiones (10 km de largo por 1 km de ancho, aproximadamente) en el que se conjugan una serie de factores climáticos y edáficos determinantes de la existencia de cuatro ecosistemas con una diversidad florística, faunística y paisajística muy importante que le otorgan una gran biodiversidad y un alto valor ambiental reconocido internacionalmente.

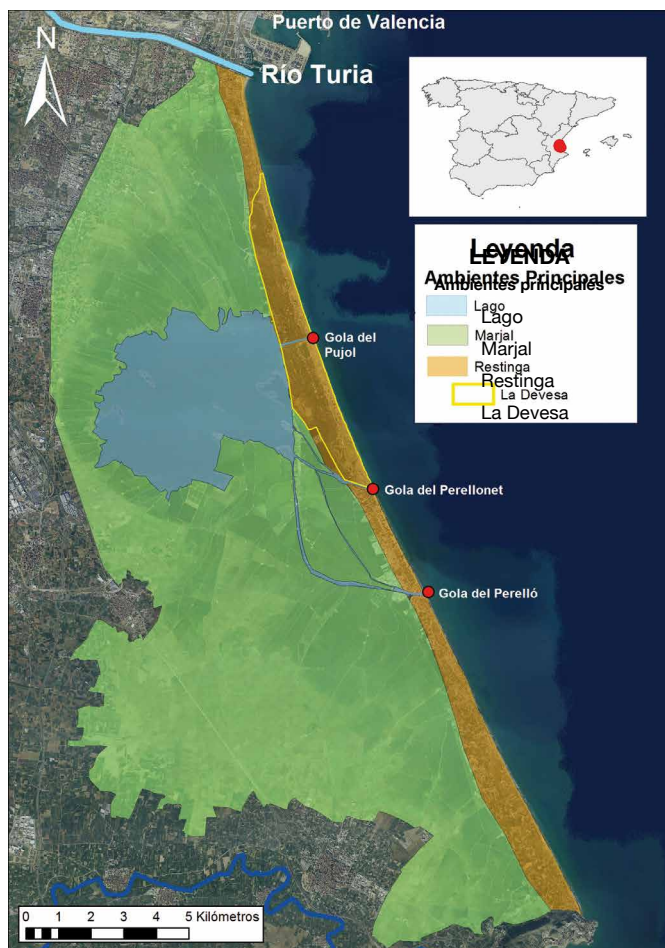


Figura 1. Parque Natural de l'Albufera de Valencia: Unidades ambientales. Localización de la Devesa.



Foto 1. La Devesa de l'Albufera de Valencia.

1.1. Ecosistemas de la Devesa:

- La playa constituye un ecosistema formado por tres subecosistemas —la playa sumergida, la playa húmeda y la playa seca— muy interrelacionados entre sí. En la playa húmeda suele haber arribazones de material detrítico, ocupados por una comunidad típica que incluye crustáceos, insectos y también aves que acuden a buscar alimento. La playa seca, colonizada por la comunidad vegetal *Salsola kali-Cakiletum aegyptiacae*, genera acumulaciones de arena —embriones dunares— que en un proceso natural normal en el que no se realizase ninguna intervención, como por ejemplo el paso de los tractores de limpieza, daría lugar a la aparición de dunas móviles.



Foto 2. Primer frente dunar.

- El conjunto dunar exterior constituye la zona más cercana a la playa y lo integran las dunas del primer frente o primera línea y las de transición. Está formado por dunas paralelas al mar, entre las cuales, y por efecto del viento, se forman las calderas de abrasión, hondonadas con un alto grado de humedad edáfica. Las duras condiciones ambientales que caracterizan este ecosistema determinan que su vegetación y su fauna adopten unas estrategias especiales para poder vivir en este medio. Conforme nos alejamos del mar, las especies vegetales subarabustivas son más abundantes y comienzan a aparecer especies típicas de la maquia litoral.



Foto 3. Depresión interdunar o mallada.

- Las depresiones interdunares o malladas se caracterizan por presentar suelos limosos que se encharcan en los periodos de lluvia y en los que se forman costras salinas al evaporarse el agua con las altas temperaturas. La vegetación se instala a modo de anillos concéntricos en función del grado de salinidad. En la parte central, donde el nivel de sal es muy elevado, no aparece vegetación. Alrededor de esta zona se sitúa la vegetación de saladar, formada principalmente por salicornias, y en la zona más externa, donde la salinidad es menor, se instalan los juncales y los pastizales.

- El conjunto dunar interior se caracteriza por presentar las dunas más antiguas, en las que la cobertura vegetal es mucho más densa. En la zona más cercana al conjunto dunar exterior, influenciada todavía por el viento del mar, se instala el jaguarzal, matorral abierto con abundantes claros arenosos. En las áreas más alejadas, donde la influencia del mar es menor, domina la maquia litoral mediterránea, caracterizada por su gran cobertura, densidad y diversidad.



Foto 4. Dunas interiores.

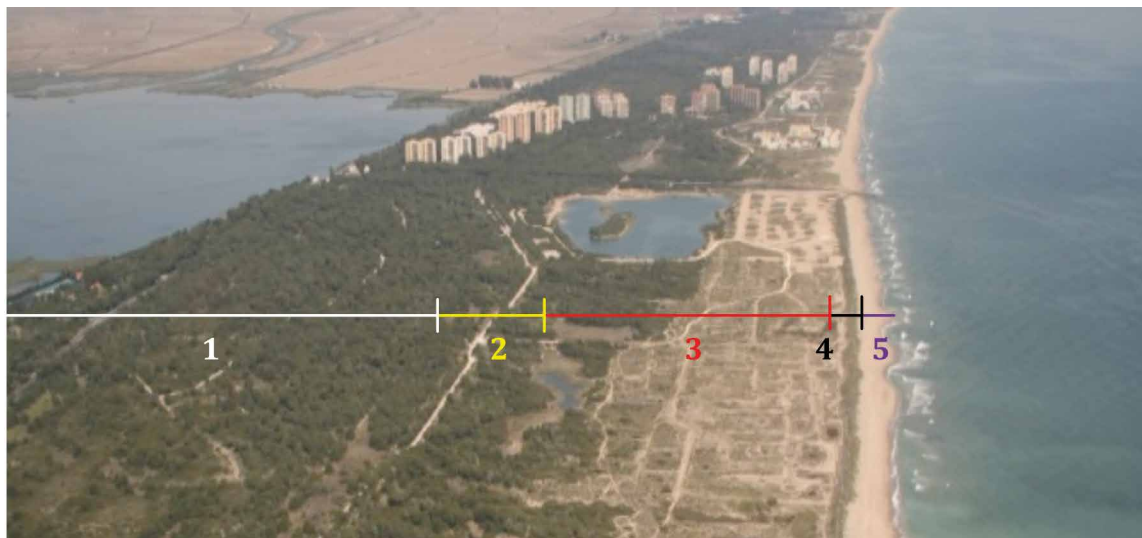


Foto 5. Ecosistemas de la Devesa. (1) Dunas interiores; (2) Malladas; (3) Zona de transición; (4) Primer frente dunar; (5) Playa

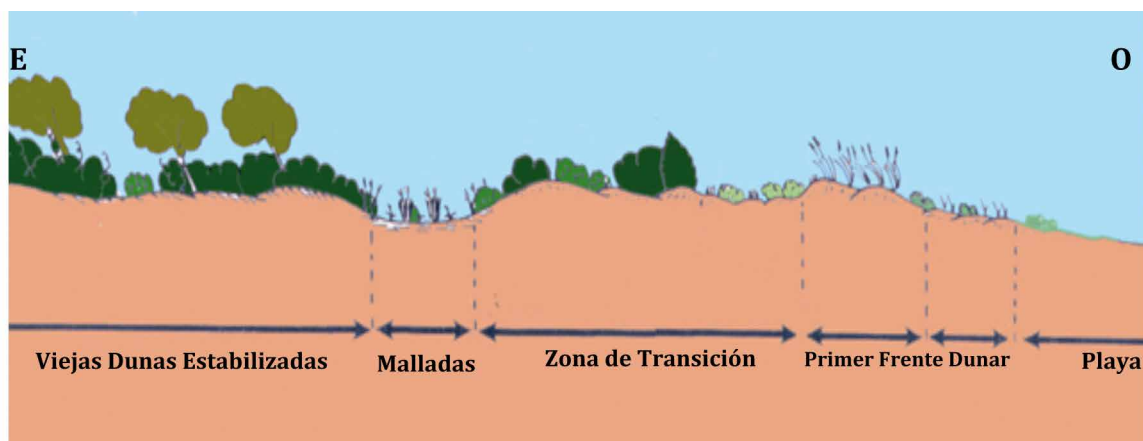


Figura 2. Simplificación del perfil de los ecosistemas de la Devesa.

Como consecuencia del proceso urbanizador iniciado en 1965, el conjunto dunar exterior fue arrasado casi en su totalidad para la construcción de un paseo marítimo, viales, aparcamientos y viviendas; las depresiones interdunares o malladas fueron rellenadas con la arena procedente del arrasamiento del sistema dunar exterior y repobladas con eucaliptos, y el conjunto dunar interior se rompió con la construcción de viales,

aparcamientos, viviendas e infraestructuras. Estas actuaciones modificaron la estructura geomorfológica de la Devesa, destruyendo sus ecosistemas y generando un paisaje artificializado y fragmentado que alteró por completo el equilibrio del sistema.

Es importante destacar que el grado de afectación de la urbanización fue diferente entre el sur y el norte de la Devesa. A pesar de que el nivel de urbanización previsto era mayor en el tramo sur (desde la Gola de El Pujol hasta la de El Perellonet), solo se ejecutó el proceso completo en un sector del tramo norte. En el sur se arrasó por completo el conjunto dunar exterior y se construyeron infraestructuras, pero no se levantó ningún edificio ya que se consiguió paralizar antes el proceso de urbanización. Esto ha facilitado el proceso de restauración en esta zona.

Hoy en día, este tramo sur es el mejor conservado y el que goza de un mayor grado de protección. Actualmente, el primer frente dunar de toda la Devesa, así como la zona de transición, las malladas y las dunas interiores del tramo sur están recuperadas y en proceso de renaturalización.



Foto 6. Detalle del paseo marítimo elevado 4 m sobre el nivel del mar que se extendía con una longitud de 2,5 km a lo largo de la playa de El Saler. En su interior había diferentes locales dedicados a diversas actividades, sobre todo de hostelería y servicios públicos.



Foto 7. Detalle del paseo marítimo que se extendía con una longitud de 5,5 km al sur del paseo marítimo elevado y a lo largo de toda la playa de la Devesa. Estaba constituido por un murete de 1,20 m de altura, adosado en su parte interna a una carretera de unos 5 m de ancho y con accesos a la playa cada determinados metros.

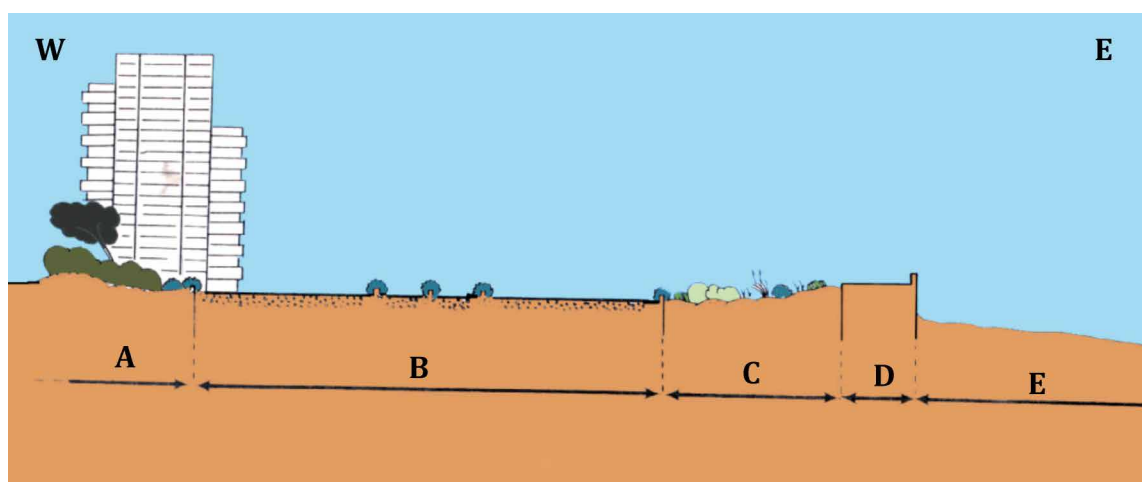


Figura 3. Perfil de los ecosistemas de la Devesa tras la urbanización. A) Urbanizaciones sobre las dunas estabilizadas; B) Aterramiento de las malladas y arrasamiento de parte de la zona de transición para la construcción de viales y aparcamientos; C) Reducción de la zona de transición; D) Arrasamiento de las dunas y construcción del paseo marítimo; E) Playa.

Desde que se tomó la decisión, hace más de treinta años, de recuperar el paisaje y los valores naturales de la Devesa, se han llevado a cabo numerosas actuaciones destinadas a ese fin.

Una de las primeras medidas adoptadas fue la creación de un vivero de plantas autóctonas para repoblar y recuperar las áreas degradadas. Simultáneamente se estableció una nueva ordenación del espacio destinada a preservar las zonas de especial valor. Se limitó el tráfico rodado en las más sensibles, se restringió el acceso peatonal en las de máximo valor y se concentraron las áreas de uso recreativo más intensivo en las zonas de menor valor natural o más degradadas. Junto con la nueva ordenación, y con el fin de promover la restauración de los ecosistemas de la Devesa, se ejecutaron diferentes actuaciones tendentes a acelerar la regeneración natural de sus ecosistemas afectados por el proceso urbanizador.

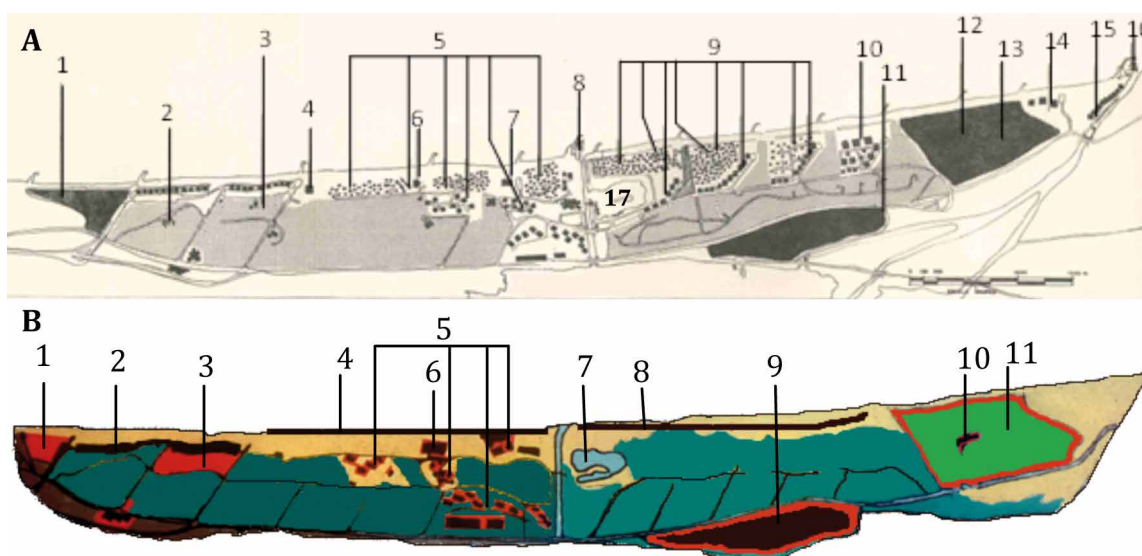


Figura 4 A). Simplificación del plan de 1974 (modificación del plan de 1965). B) Lo que finalmente se construyó.

A) 1) Polideportivo; 2) Parque de atracciones; 3) Camping; 4) Hotel; 5) Poblados, torres de apartamentos y urbanizaciones; 6) Hotel; 7) Hotel; 8) Puerto deportivo; 9) Poblados, torres de apartamentos y bloques; 10) Hoteles; 11) Hipódromo; 12) Parador; 13) Campo de golf; 14) Hoteles; 15) Bloques; 16) Puerto deportivo; 17) Lago artificial.

B) 1) Polideportivo; 2) Paseo marítimo elevado; 3) Camping; 4) Paseo marítimo a nivel del suelo; 5) Torres de apartamentos y urbanizaciones; 6) Hotel; 7) Lago artificial; 8) Paseo marítimo a nivel de suelo; 9) Hipódromo; 10) Parador; 11) Campo de golf.

En relación con las actuaciones de recuperación llevadas a cabo por el Servicio Devesa-Albufera y con el tipo de inversión realizada, se pueden distinguir tres etapas en los trabajos de restauración de la Devesa. Durante los primeros años, desde 1982 hasta 1988, las tareas que se efectuaron fueron experimentales y comportaron el ensayo de diferentes técnicas y materiales con la finalidad de establecer la metodología más adecuada para la restauración. Desde 1988 hasta el año 2000 se realizaron los primeros trabajos de restauración, que se llevaron a cabo con medios propios y presupuestos pequeños. A partir del año 2000 se ejecutaron grandes proyectos con la misma metodología pero con fondos europeos, estatales y regionales, lo que permitió recuperar amplias zonas.

Hay que señalar también que los trabajos de restauración llevados a cabo en el tramo sur de la Devesa los ha ejecutado el Ayuntamiento y que la arena utilizada en estos casos ha procedido íntegramente de la propia Devesa. En el tramo norte, las restauraciones han corrido a cargo de la Demarcación de Costas del



Fotos 8 y 9. Ensayos con distintos tipos de material y disposición para la fijación de la arena. Izquierda: Mallas de plástico. Derecha: Haces de ramaje de eucaliptos procedentes de la eliminación de estos árboles.



Foto 10. Izquierda: 2002. Playa de la Malladeta norte y playa Brava. Eliminación de infraestructuras. Con el Proyecto LIFE DUNA se extraen 270 pozos de registro cuya profundidad oscilaba entre 2,45 y 4,25 m.

Foto 11. Derecha: Regeneración de dunas interiores de la Devesa sur. Detalle. Eliminación de infraestructuras obsoletas (en este caso, un antiguo centro de transformación eléctrica).

Ministerio y/o de la Generalitat Valenciana, y la arena ha procedido en su mayor parte de fuera de la Devesa (dragados de playa sumergida o extracciones de playa seca localizadas al norte del puerto de Valencia, cantera, apertura de la desembocadura de las golas...). En estos casos, el Ayuntamiento ha colaborado con ambas administraciones. Las plantas utilizadas para llevar a cabo todas las restauraciones han procedido íntegramente de los viveros municipales del Servicio Devesa-Albufera o de la propia Devesa.

A continuación se describen las actuaciones de restauración llevadas a cabo en general por el Servicio Devesa-Albufera en cada uno de los ecosistemas.

1.2. Primer frente dunar y zona de transición

- 1.º- Extracción de especies vegetales de interés y/o recolección de semillas y eliminación de especies alóctonas. De la eliminación de alóctonas es necesario hacer controles posteriores.
- 2.º- Eliminación del paseo marítimo, viales, aparcamientos y todo tipo de infraestructuras.
- 3.º- Reconstrucción de la morfología dunar mediante la acumulación mecánica de la arena y su fijación por la construcción de empalizadas y la plantación de especies vegetales propias de cada ecosistema. Las empalizadas se construyen con caña (*Arundo donax*) y borro (*Spartina versicolor*), con una permeabilidad del 50 %, una altura de 70-80 cm y una disposición en trama ortogonal. En el primer frente se forman cordones dunares longitudinales, paralelos a la costa y con un perfil disimétrico con la pendiente más abrupta a sotavento. En muchos casos, estos se retranquean con la finalidad de crear una playa más ancha y otorgar, así, una mayor estabilidad al sistema.

La arena que se utiliza procede de la creación de nuevas calderas o de la exageración de las existentes y del vaciado de las malladas. Cuando se produce el arrasamiento de las dunas en la zona de transición, la vegetación coloniza rápidamente este espacio dando lugar a una superficie homogénea y sin diferencia de cotas. Con la creación de las nuevas calderas se obtiene arena para la formación de las dunas y se reconstruye el paisaje dunar. Las malladas aterradas por la urbanización se recuperan vaciándolas y devolviendo la arena que las colmata a su lugar de origen, al conjunto dunar de primera línea y al de transición. La recuperación de las malladas se debe realizar con cuidado, sin romper la capa de limos y con pendientes muy suaves. Las dunas presentan una tasa de recuperación más rápida que las malladas, pudiendo alcanzar un estado óptimo a los cuatro o cinco años de su creación, mientras que las malladas tardan un tiempo medio de nueve años.

En el diseño de la nueva morfología se tiene en cuenta el relieve anterior a 1965 y la situación en el momento en que se va a realizar la intervención.

4.º- En algunos casos, cierre temporal mediante estacas y cuerdas de la zona en proceso de recuperación.



Foto 12. Fijación de la arena mediante empalizadas de caña (*Arundo donax*) y borró (*Spartina versicolor*). El borró es una planta que crece en la parte más externa de las malladas y que tradicionalmente se ha utilizado para los tejados de las barracas.

1.3. Dunas interiores o estabilizadas

1.º- Extracción de especies vegetales de interés y/o recolección de semillas y eliminación de especies alóctonas. De esta segunda tarea es necesario hacer controles posteriores.

2.º- Eliminación de aparcamientos, infraestructuras y viales o reducción de la anchura de estos. Por motivos de seguridad y emergencias, se han mantenido algunos tramos de los viales construidos con el proceso de urbanización. En estos casos, se ha reducido su anchura (de 14 a 3,5 metros), se han trazado de forma sinuosa y se ha sustituido su firme por hormigón coloreado. En la Devesa sur, la superficie total ocupada por los viales se ha reducido en un 75 %.

3.º- Plantación en las zonas recuperadas con la finalidad de integrarlas en el entorno.

Todas las actuaciones se han acompañado siempre de amplias campañas informativas junto con diversas actividades educativas y culturales destinadas a dar a conocer al ciudadano los valores naturales del área con la finalidad de conseguir su implicación y colaboración.

Con el objeto de restaurar la cubierta vegetal en cada uno de los ecosistemas recuperados, y basándose en el análisis de la vegetación presente en las zonas no arrasadas o alteradas por el proceso de

urbanización, se han establecido unos módulos de repoblación que reproducen, por sectores y lo más fielmente posible, la composición y estructura de la comunidad vegetal. El módulo de repoblación se define como la unidad elemental de repoblación que corresponde a cada sector de la duna para una superficie de 25 metros cuadrados. Su uso simplifica el cálculo de las plantas necesarias en cada restauración y facilita las plantaciones.

A continuación se presenta una tabla que recoge un resumen de las actuaciones de restauración llevadas a cabo en la Devesa de l'Albufera, precedida por un mapa con las playas y otros puntos de interés para localizarlas. La descripción de las mismas se ha hecho siguiendo un orden de las actuaciones ejecutadas por tramos de playa, desde el sur hacia el norte. Se ha distinguido entre las efectuadas en el primer sistema dunar, en las dunas de transición y en las dunas interiores. De las malladas o depresiones interdunares no se ha realizado un apartado concreto ya que estas se van recuperando a medida que se recuperan los ecosistemas de primera línea y de transición.

Tras las tablas, se adjunta un anexo fotográfico con series evolutivas de distintas zonas en las que se puede ver el proceso y el resultado de la restauración a lo largo de los años. A modo de ejemplo, se ha incluido el módulo de repoblación de matorral de duna estabilizada general (*Phillyreo angustifoliae-Rhamnetum angustifoliae*).

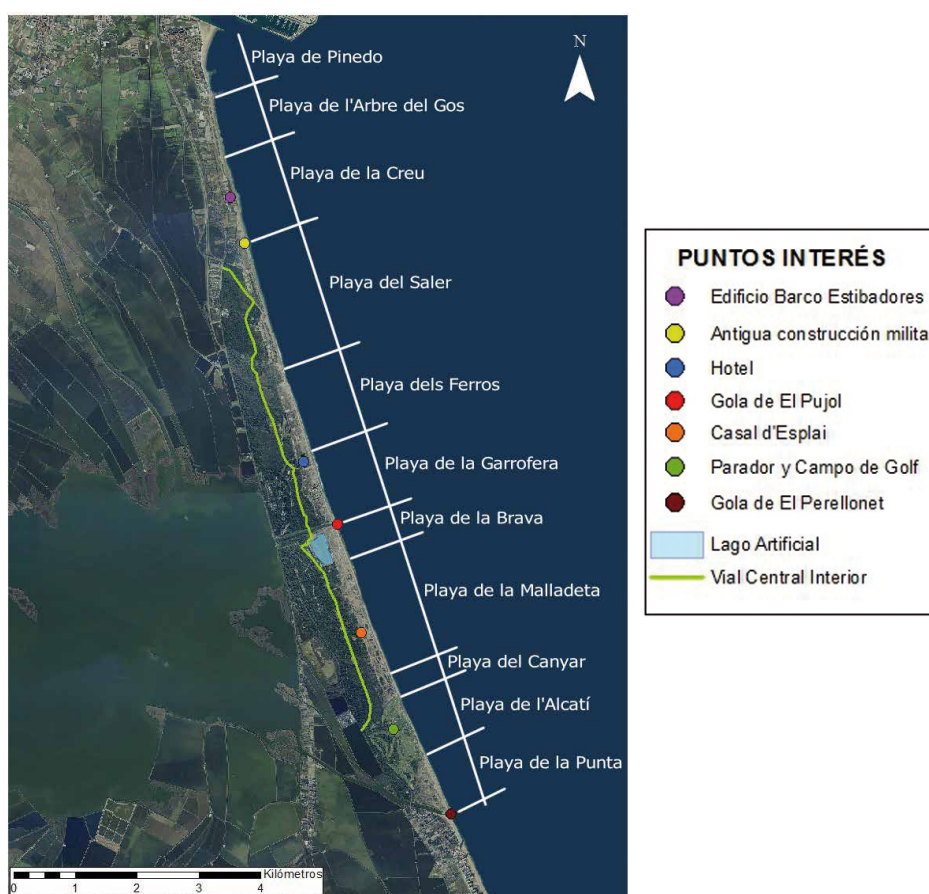


Figura 5. Playas de la Devesa de l'Albufera de Valencia y otros puntos de interés para comprender y ubicar las distintas actuaciones expuestas en las tablas.

ZONA ACTUACIÓN	FECHAS	ACTUACIÓN	SUPERFICIE (m lineals o m2)	PLANTACIÓN	PROCEDENCIA DE LA ARENA	EJECUTOR	INVERSIÓN
Play del Canyar	1982	No existe paseo marítimo. Se realiza duna de 7 m que desaparece por escasa vegetación y proximidad al mar.	100 ml	Se utiliza el módulo de repoblación de duna embrionaria (<i>Cakiletum aegyptiacae</i>) y móvil (sobrevient <i>Agropiretum mediterraneum</i> cresta <i>Medicago marinae</i> - <i>Ammophiletum arundinaceae</i> y sotavento (<i>Crucianelletum maritimae</i>))	De la propia Devesa: de creación de nuevas calderas de abrasión y/o exageración de las existentes.	Ayuntamiento de Valencia. Uno de los primeros ensayos de regeneración; se realiza con medios mecánicos y humanos propios.	87.495,19 €
	1991	Se vuelve a reconstruir más alejada de la orilla. Anchura media de la base: 20-22 m. Altura: 4,80m.	100 ml 2200m2				
	1988	Se cubre el paseo marítimo con un cordón dunar. Altura duna: 5 m (0,5-1,5 m sobre murete).	800 m 16.000 m2			Ayuntamiento de Valencia. Se realiza con medios mecánicos y humanos propios.	187.425,72 €
Playa de la Malladeta sud	1997	Se desmonta la duna respetando los embriones dunares delanteros, se elimina el paseo marítimo y se vuelve a reconstruir el cordón dunar con una base de 20 m. Actuación experimental.	62 m 4.800 m2		De la propia Devesa: de arena acumulada en el paseo. De creación de nuevas calderas de abrasión y/o exageración de las existentes. De la creación de lagunas. De la mallada de El Canyar.	Se contrata maquinaria.	
	1998	Se desmonta la duna respetando los embriones dunares delanteros, se elimina el paseo y se vuelve a reconstruir el cordón dunar con una base de 20 m.	547 m 10.940 m2			Se contrata maquinaria.	136.610,16 €
Playa de la Malladeta norte y playa Brava	2001-2004	Se elimina el paseo marítimo y se construye un cordón dunar de 25 m de base y 4-5 m de altura. Esta actuación supone el final de la reconstrucción del primer cordón dunar de la Devesa sur.	2.100 m 52.500 m2		De la propia Devesa: de la arena acumulada en el paseo. De la mallada de la Mata del Fang y de la Sanxa. De la creación de una laguna con agua permanente en el centro de la mallada de la Mata del Fang (4000 m2). Introducción de dos especies de peces endémicas, el fartet (Aphanius iberus) y el samaruc (Valencia hispanica).	Ayuntamiento de Valencia Proyecto LIFE DUNA (Modelo de restauración de hábitats dunares en la Devesa de l'Albufera de Valencia).	1.931.481,57€ 50 %Europa 50 % Ayuntamiento

Tabla 1. Actuaciones en el Primer Frente Dunar de la Devesa Sur (Desde la Gola del Pujol hasta la Gola del Perellonet)

ZONA ACTUACIÓN	FECHAS	ACTUACIÓN	SUPERFICIE (m lineals o m2)	PLANTACIÓN	PROCEDENCIA DE LA ARENA	EJECUTOR	INVERSIÓN
Playa de la Garrofera y playa dels Ferros	1990	Se elimina el paseo marítimo. Se construye un cordón dunar de 16,5 m de base y 4,75 m de altura. Se retranquea, en un tramo, 19 m.	1.825 m	Módulo de repoblación de duna embrionaria (<i>Cakiletum aegyptiacae</i>) i mòbil (<i>Agropyretum mediterraneum</i>), cresta (<i>Medicago marinae-Ammophiletum arundinaceae</i>) y sotavento (<i>Crucianelletum maritimae</i>)	500 000 m3 de arena del dragado del fondo marino del norte del puerto de Valencia (granulometría muy fina)	Demarcación de Costas y Generalitat Valenciana	2.404.424 €
	1991	Construcción de accesos a la playa, cierre de la zona de actuación, carteles y folletos informativos.					228.657,51 €
		Se reparan los cercados y los accesos. Más carteles y folletos.					145.754,16 €
Playa de El Saler	1997-2000	Se elimina el paseo marítimo elevado. Se reconstruye un sistema dunar de anchura y altura medias: 43 m y 6,5-7 m. Se construye un paseo marítimo a cota del suelo.	1.500 m		Arena procedente del norte del puerto de Valencia, de la playa seca y de la recuperación de las malladas.	Demarcación de Costas	2.404.424 €
Playa de la Creu	1997-2000	El Ayuntamiento aporta la planta del proyecto.				Ayuntamiento de Valencia	142.050 €
		Se elimina la antigua escuela de estibadores dejando un edificio en forma de barco que existía en su interior.	1.700 m			Demarcación de Costas y Generalitat Valenciana	
	2007-2012	Se eliminan la parte norte del polideportivo, el colegio Sebastián Burgos y una antigua fábrica de plásticos.	960 m			Demarcación de Costas	
		Eliminación de parte de las instalaciones del antiguo polideportivo y reconstrucción de un cordón dunar en toda la zona. En proceso de ejecución.			Arena procedente del norte del puerto, de la abertura de la Gola de El Perellonet y de la mallada Redona.	Demarcación de Costas	
Playa de l'Arbre del Gos	2007	Se respetan los embriones dunares existentes, se expropia terreno agrícola y se construye un sistema dunar formado por dos cordones, un paseo marítimo situado detrás, a cota del suelo, un carril bici y aparcamientos.	1.350 m	Módulo de repoblación de duna embrionaria (<i>Cakiletum aegyptiacae</i>) y mòbil (<i>Agropyretum mediterraneum</i>), cresta (<i>Medicago marinae-Ammophiletum arundinaceae</i>) y sotavento (<i>Crucianelletum maritimae</i>)	La arena procede del dragado del norte del puerto de Valencia y de cantera (zona de Villar del Arzobispo).	Generalitat Valenciana	14.766.135,03€ (8.976.799,03€ la obra y 5.789.336 € expropiaciones)

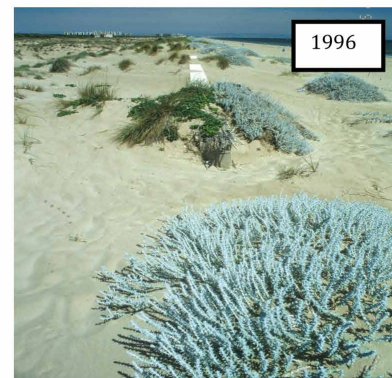
Tabla 2. Actuaciones en el primer frente dunar de la Devesa norte (desde la Gola de El Pujol hasta Pinedo)

ZONA DE ACTUACIÓN	FECHAS	ACTUACIÓN	SUPERFICIE (m2)	PLANTACIÓN	PROCEDENCIA DE LA ARENA	EJECUTOR	INVERSIÓN
Playa de El Canyar	1997	Se construye un edificio dunar reforzando el primer cordón.	2.542	Se utiliza el módulo de repoblación de transición duna semifija (<i>Crucianelletum maritima</i>).	Excavación de las lagunas de dos malladas.		
Playa de la Malladeta y playa Brava	2001-2004	Se eliminan 35 000 m2 de viales y aparcamientos, 85 arquetas, 270 pozos de registro y 10 000 m de tuberías. Se sustituye un tramo de 2100 m de vial por uno de solo 3 m de ancho de hormigón dejado caer en la arena, adaptándose al terreno.	134.000		Se crea una laguna con agua permanente en el centro una mallada.	Ayuntamiento de Valencia y LIFE DUNA	Incluido en inversión del primer frente dunar
	2004-2008	Se reconstruye la morfología dunar. Se crea una laguna de agua permanente en la que se introduce el samaruc (Valencia hispanica). Fin de la regeneración de la zona de transición de la Devesa sur.	620.300	Repoblación con 912 enebros marinos (<i>Juniperus macrocarpa</i>). Se utilizan los módulos de repoblación Teucro belionis-Halimietum halimifoli	Creación de nuevas calderas / exageración de las existentes, vaciado de malladas y creación de una laguna con agua permanente en la zona de transición de la playa de El Canyar.	Ayuntamiento de Valencia y LIFE ENEBRO	3.278.216 € (50 % Europa, 50 % Ayuntamiento)
Playa dels Ferros	1988	Eliminación de aparcamientos, viales e infraestructuras.	250.000				116.103,85 €
	1995	Se reconstruye la morfología dunar reforzando el primer cordón dunar y creando nuevas alineaciones. detrás. Las dunas alcanzan una altura de 5 m.	26.320	La parte de sotavento se repuebla con con módulos de (<i>Crucianelletum maritima</i>)	La arena utilizada procede de la misma zona de actuación donde se recrean nuevas calderas y edificios dunares.	Ayuntamiento de Valencia	143.621,22 €
	1998		22.262				24.629,26 €
Playa de El Saler	1997-2000	Eliminación de viales y aparcamientos. Construcción de otros nuevos con una tercera parte del número de plazas. Construcción de un carril bici y un área de esparcimiento. Los viales se reducen de 14 a 7 m de ancho y se construyen con trazado sinuoso		Se utiliza el módulo de repoblación de transición duna semifija (<i>Crucianelletum maritima</i>)	Arena procedente de la recuperación de malladas y del norte del puerto de Valencia, de la playa seca.	Generalitat Valenciana y Demarcación de Costas	Incluido en inversión del primer frente dunar
Camping municipal	1999-2000	Eliminación de las instalaciones y parte de la vegetación alóctona. Queda una parte de la solera (pendiente de finalizar la recuperación completa).	87.300	De momento no se ha repoblado. Se han eliminado parte de las alóctonas.		Ayuntamiento de Valencia	
Polideportivo municipal	2014-2015	En proceso de eliminación.				Demarcación de Costas	
Playa de l'Arbre del Gos	2007	Se expropia terreno agrícola y se construyen: paseo marítimo a cota del suelo, un carril bici, zona de esparcimiento y parkings.		Se utiliza el módulo de repoblación de transición duna semifija.		Generalitat Valenciana	Inversión del primer frente dunar

Tabla 3. Actuaciones en la zona de transición de la Devesa de l'Albufera de Valencia

ZONA DE ACTUACIÓN	FECHAS	ACTUACIÓN	SUPERFICIE	PLANTACIÓN	PROCEDENCIA DE LA ARENA	EJECUTOR	INVERSIÓN
Devesa sur: primeras actuaciones	1986-1996	Eliminación de bordillos y de parte del firme de los viales. Estos se reducen de 14 a 7 m de ancho. Eliminación de una parte de las infraestructuras obsoletas.				Ayuntamiento de Valencia	
Devesa sur: vial central y viales laterales, tramo sur hasta el Casal d'Espilai. Se incluyen los tramos en T y en Y	2011	Se eliminan la red de saneamiento y restos de infraestructuras obsoletas. Se suprimen viales, y los que se mantienen se reducen de 7 a 3,5 m de ancho. Se sustituye el firme por hormigón coloreado. La zona recuperada al estrechar los viales se integra en el entorno. Se eliminan un total de 17 931,62 m2 de firme y se ponen en su lugar 9980,86 m2 de hormigón coloreado en los nuevos viales.	3.970 m	Se utiliza el módulo de plantación de matorral de duna estabilizada general (<i>Phillyreo angustifoliae-Rhamnetum angustifoliae</i>).	Para recrecer la zona de los márgenes del nuevo vial e integrarla en el entorno, se utiliza arena extraída de las malladas cercanas.	Ayuntamiento de Valencia	1.118.572,66€ Proyecto financiado por fondos de la Generalitat Valenciana: Plan especial de apoyo a la Inversión Productiva (PIP).
Devesa sur: vial central, laterales y aparcamientos, tramo Casal d'Espilai hacia el norte, vial central y lago artificial.	2009	Se eliminan la red de saneamiento e infraestructuras obsoletas. Se suprimen viales, y los que se mantienen se reducen de 7 a 3,5 m de ancho. Se sustituye el firme por hormigón coloreado. Se eliminan un total de 28 499,32 m2 de macadán y zahorra y se ponen 9993,12 m2 de hormigón coloreado.	2.955 m	Se utiliza el módulo de plantación de matorral de duna estabilizada general (<i>Phillyreo angustifoliae-Rhamnetum angustifoliae</i>).	Para recrecer la zona de los márgenes del nuevo vial e integrarla en el entorno, se utiliza arena extraída de las malladas cercanas.	Ayuntamiento de Valencia	1.022.729,68€ Proyecto financiado por el Fondo Estatal de Inversión Local (FEIL).

Tabla 4. Actuaciones en las dunas estabilizadas interiores de la Devesa de l'Albufera de Valencia



Primeras Experiencias del Servicio Devesa-Albufera

1988. Playa de la Malladeta sur. A falta de presupuesto, y con la finalidad de minimizar el efecto negativo del murete del paseo marítimo sobre la playa, se cubre este con un cordón dunar.

1989. Playa de la Malladeta sur. Cordón dunar reconstruido sobre el paseo marítimo.

1994. Playa de la Malladeta sur. Cordón dunar con el paseo debajo cinco años después de la intervención.

1996. Playa de la Malladeta sur. Tramos del paseo que empiezan a quedarse al descubierto. Dos años después «se desmontará» el cordón dunar respetando la zona de embriones, se eliminará completamente el paseo, incluida su cimentación, y se reconstruirá de nuevo el cordón dunar.



**Regeneración del primer frente dunar y zona de transición. Devesa sur. LIFE DUNA y LIFE ENEBRO. Servicio Devesa-Albufera
(I)**

1965. Playa de la Malladeta norte y playa Brava antes del proceso de urbanización. Visión desde norte hacia el sur. En primer plano, la Gola de El Pujol. El lago artificial no estaba construido.

1974. Playa de la Malladeta norte y playa Brava. Vista aérea de la Devesa sur. Visión desde el norte hacia el sur. Lago artificial construido para centro náutico, primer frente dunar y zona de transición arrasados, malladas rellenadas, dunas alteradas y dunas interiores fragmentadas.

2000. Playa de la Malladeta norte y playa Brava. Antes de la ejecución del Proyecto LIFE DUNA. Viales y aparcamientos.



Regeneración del primer frente dunar y zona de transición. Devesa sur. LIFE DUNA y LIFE ENEBRO. Servicio Devesa-Albufera (II)

2003. Playa de la Malladeta norte y playa Brava. Proyecto LIFE DUNA. Se ha eliminado el paseo marítimo y se ha sustituido por un cordón dunar. Este se ha retranqueado 5 m hacia el interior con respecto al paseo. Eliminación de la infraestructura de los viales y aparcamientos. Construcción del vial de servicios.

2008. Playa de la Malladeta norte y playa Brava. Proyecto LIFE ENEBRO. Destacan las dunas con empalizadas, recién repobladas con vegetación, y las calderas de las que se ha extraído parte de la arena. El primer frente dunar totalmente restaurado.

2010. Playa de la Malladeta norte y playa Brava. Restauración finalizada. Primer frente dunar ejecutado con Proyecto LIFE DUNA y zona de transición con Proyecto LIFE ENEBRO.

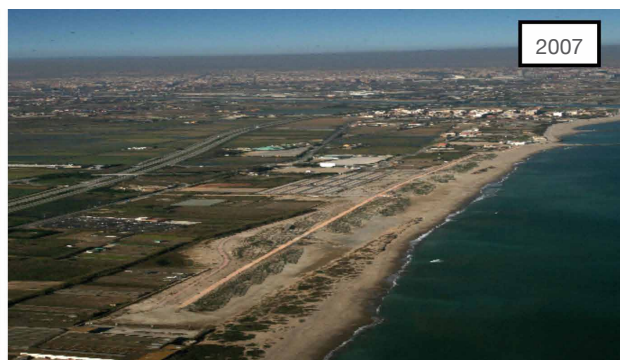


Regeneración del primer frente dunar y zona de transición. Devesa norte (playa de El Saler). Demarcación de Costas y Generalitat Valenciana

1970. Playa de El Saler. Arrasado todo el primer sistema dunar para construcción de aparcamientos y de un paseo marítimo elevado (ver foto n.º 6). A la izquierda, junto a la zona arrasada para aparcamiento, instalaciones del camping municipal.

1999. Playa de El Saler. Regeneración llevada a cabo por la Demarcación de Costas y la Generalitat Valenciana. Eliminación del paseo marítimo cediendo su espacio a la playa. Construcción de «edificios dunares» dispuestos en dos alineaciones y, detrás de ellos, ejecución de un paseo marítimo y un carril bici a nivel del suelo. Detrás de este, bolsas de aparcamientos. En rojo, instalaciones del camping municipal.

2008. Playa de El Saler nueve años después de realizada la intervención. Las instalaciones del camping municipal se han eliminado. Quedan algunos restos de la solera en la antigua entrada.



Regeneración del primer frente dunar y zona de transición. Playa de l'Arbre del Gos. Generalitat Valenciana

2001. Vista aérea antes de la actuación. Playa afectada por un temporal.

2007. Playa de l'Arbre del Gos. Regeneración llevada a cabo por la Generalitat Valenciana. Expropiación de terrenos agrícolas, retranqueo de la línea de costa, regeneración del sistema dunar y construcción de un paseo marítimo y un carril bici a nivel del suelo.

2010. Playa de 'Arbre del Gos tres años después de finalizada la intervención.



Creación de lagunas con agua permanente en mallada y en caldera de abrasión

2002. Playa de la Malladeta norte y playa Brava. Mallada de la Mata del Fang. Extrayendo arena y creando laguna con agua permanente. Introducción de dos especies de peces endémicas, el fartet (*Aphanius iberus*) y el samaruc (Valencia hispanica). Proyecto LIFE DUNA.

2009. Playa de la Malladeta sur. Detalle de laguna realizada en la zona de transición exagerando una caldera de abrasión. Proyecto LIFE ENEBRO. Introducción del samaruc (Valencia hispanica).



Regeneración de dunas interiores de la Devesa sur. Servicio Devesa-Albufera

1988. Regeneración de dunas interiores de la Devesa sur. Aspecto de los antiguos viales. En este caso, se han eliminado el macadán y la zahorra de la parte derecha del vial con el objeto de reducir su anchura de 14 a 7 m.

2009. Regeneración de dunas interiores de la Devesa sur. Eliminación de antiguos viales. Se mantienen algunos tramos con la finalidad de acceso para vigilancia y emergencias. Se cambia el firme y se reduce la anchura de estos tramos. En la foto, nuevo vial construido con hormigón coloreado y más estrecho (se reduce de 7 a 3,50 m). El espacio ganado se repuebla con vegetación característica del ecosistema de dunas interiores con la finalidad de que se integre en el entorno.

2014. Regeneración de dunas interiores de la Devesa sur. Nuevo vial integrado en el entorno. Repoblación vegetal aplicando el módulo «PLANTACIÓN DE MATORRAL DUNA ESTABILIZADA X25 m² GENERAL *Phillyreo angustifoliae*-*Rhamnetum angustifoliae*».

MÓDULO DE PLANTACIÓN DE MATORRAL (maquia) DUNA ESTABILIZADA X 25 m²

Phillyrea angustifoliae-Rhamnetum angustifoliae



Especies	Esquejes	Bulbos	Raíces	Siembra	Plantación
<i>Phillyrea angustifolia</i> / Labiérnago					2
<i>Pistacia lentiscus</i> / Lentisco					1
<i>Rhamnus alaternus</i> / Aladierno					2
<i>Quercus coccifera</i> / Coscoja				3	
<i>Chamaerops humilis</i> / Palmito					2
<i>Smilax aspera</i> / Zarparrilla				6	
<i>Lonicera implexa</i> / Madreselva				1	
<i>Scirpus holoschoenus</i> / Junco común					4
<i>Sedum sediforme</i> / Uña de gato	1				
<i>Cistus salviifolius</i> / Estepa negra				1	
<i>Cistus clusii</i> / Romerina	1				
<i>Dianthus broteri</i> / Clavelina				2	
<i>Pinus halepensis</i> / Pino carrasco					1
<i>Rhamnus oleoides subsp. angustifolia</i> / Espino negro					1
<i>Rubia peregrina</i> / Rubia				2	
<i>Clematis flammula</i> / Hierba de los pordioseros				1	
<i>Erica multiflora</i> / Brezo				1	

Referencias

Collado FJ. La regeneración de la primera línea de la Devesa de l'Albufera de Valencia. Trabajo fin de carrera. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad Politécnica de Valencia; 1986.

Corella M, Muñoz A, Perez M. Material escolar para un vivero didáctico. Guía del profesor y Guía del alumno. Servicio Devesa-Albufera. Ayuntamiento de Valencia; 2000.

Costa M, Peris JB, Figuerola R. La vegetación de la Devesa de l'Albufera. Monografías 01. Ayuntamiento de Valencia; 1883.

Costa M, Mansanet, J. Los ecosistemas dunares levantinos: La Devesa de l'Albufera de Valencia. Actas III Congreso Optima. Anales Jardín Botánico. Madrid. 1981; 37(2): 277-299.

Equipo técnico Devesa-Abufera. La restauración de las dunas litorales de la Devesa de l'Albufera de Valencia. Valencia; 2004.

Monblanch F. Historia de la Albufera de Valencia. Valencia; 1960.

Pardo Pascual JE. La erosión antrópica en el litoral Valenciano. Generalitat Valenciana. Conselleria d'Obres Publiques, Urbanisme i transports. Valencia; 1991.

Paskoff R. Les Littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. Paris: Masson; 1985.

Paskoff R. Côtes en danger. Practiques de la Géographie. Paris: Masson; 1991.

Quintana A. Proyecto de regeneración de las dunas de El Canyar Oficina técnica Devesa-Albufera. Ayuntamiento de Valencia. Unpublished. 1991.

Roselló VM. L'Albufera de València. Barcelona: Publicacions de l'Abadia de Monserrat; 1995.

Sanjaume, E. Las costas valencianas: sedimentología y morfología. M.Sc.Thesis, Universidad de Valencia. 1985.

Vizcaino A, Perez T. Plan especial de protección del monte de la Dehesa: la vegetación y la flora de la Devesa. Ayuntamiento de Valencia. Unpublished. 1982.

Vizcaino A, Sanchez J, De Felipe G. Recuperación del paisaje dunar de la Devesa de l'Albufera de Valencia. Su problemática. Revista de la escuela de Jardinería y Paisaje del Ayuntamiento de Valencia. 1985; 1:3-7.

Evaluación de la incidencia de la gestión de dunas en la costa de Huelva mediante técnicas de fotografía repetida (1986 – 2001 – 2015)

Daniel Sánchez Escalera, Pablo Fraile Jurado y Carolina Peña Alonso

1. Introducción

1.1. La fotografía repetida como técnica de evaluación de cambios ambientales

La fotografía ha estado al servicio de diferentes disciplinas científicas y humanísticas desde sus orígenes, sirviendo para documentar e investigar los diferentes procesos y fenómenos que tienen lugar en cada una de ellas. Ya desde principios del siglo xix tuvo un claro propósito científico, destacando su uso en investigaciones y expediciones. Durante la época de la colonización, las grandes potencias europeas llevan a cabo amplios trabajos fotográficos de investigación antropológica, entre ellos los de Im Thurn (1893) o los realizados en las expediciones al oeste de Estados Unidos, como los de O'Sullivan (en la Exploración Geológica del Paralelo 40 entre 1867 y 1869), Jackson (Expedición Hayden en Yellowstone de 1871) o Watkins (Expedición Yosemite de 1861) (Webb, 2010).

Los archivos fotográficos (documentales, artísticos, científicos o periodísticos) han servido como base para desarrollar la técnica de la fotografía repetida. Esta técnica consiste en volver a tomar una fotografía de archivo desde el mismo punto de vista y abarcando el mismo ángulo de visión, respetando una serie de reglas existentes para su realización. Los forestales franceses fueron pioneros en la técnica, con la que llevaron a cabo trabajos con un claro fin pedagógico y político. Según Carré y Métaillé (2008), se trataba de suministrar al público y a los responsables las pruebas de la degradación de las montañas y la demostración de la eficacia de la acción de los forestales. A finales del siglo xix, Finsterwalder incluyó el uso de la fotografía repetida en sus estudios de glaciología en trabajos que se consideran como pioneros en la introducción de la herramienta en los estudios científicos (Webb, 2010).

En 1905, la técnica de la fotografía repetida tenía ya tal aceptación que los manuales sobre ecología la recomendaban para el seguimiento espacial de vegetación (Clements, 1905). En el mismo campo, uno de los primeros estudios en documentar la pérdida de especies de pastizales fue el llevado a cabo en el prado experimental de Santa Rita, en el sur de Tucson (Webb, 2010).

Dentro del ámbito de la geología, la técnica empezó a desarrollarse con los estudios de meteorización y erosión de la roca madre en el sur de Utah por Bryan y La Rue (1927), así como con los trabajos de Longwell sobre erosión en cataratas. Shantz, de la Universidad de Arizona, en Tucson, fue pionero en el uso de la fotografía repetida para documentar los cambios en poblaciones de plantas en amplios espacios (Carré y Métaillé, 2008).

A principios del siglo xx, The Desert Laboratory se constituyó como una estación de investigación biológica en el desierto de Sonora (EE. UU.), y allí se desarrollaron numerosos estudios científicos para el análisis de la adaptación de vegetación y fauna en ámbitos desérticos. A principios de la década de los ochenta, los trabajos de Webb dan lugar a la Desert Laboratory Collection, uno de los mayores archivos de fotos repetidas del mundo, perteneciente actualmente al United States Geological Service (USGS). El archivo cuenta con unos 35 000 negativos y transparencias, y alberga unos 9762 pares de fotos tomadas en el mismo lugar (Webb, 2010).

En áreas costeras es preciso señalar que, aunque se trata de un medio muy dinámico y que, por ello, constituye un lugar propicio para la realización de una investigación a través de la fotografía repetida, este tipo de análisis no son tan abundantes como en otras áreas antes señaladas. Esto se debe quizá al excesivo dinamismo de algunos ambientes litorales (especialmente los meso y macromareales), aunque también a la dificultad para plasmar los cambios mediante fotografías en zonas con un mayor predominio de la horizontalidad, a excepción de las costas acantiladas.

Los primeros trabajos efectuados en áreas costeras se ciñeron a la observación de glaciares costeros, como los realizados por Field (1937) en los glaciares de Alaska, o bien se dedicaron a documentar la efectividad de las medidas de planificación y gestión. No obstante, los mejores ejemplos en este sentido se han llevado a cabo en zonas que han sufrido catástrofes ambientales, como los trabajos sobre la recuperación tras el huracán Katrina (Carré y Métaillié, 2008).

En España destacan dos proyectos centrados en Baleares: el del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA), que utiliza esta técnica como principal herramienta, y, muy relacionado con el anterior, el del Observatorio Fotográfico del Paisaje de la Universitat de les Illes Balears, aunque su objeto de estudio no se restringe al litoral.

2. Área de estudio

2.1. Descripción fisiográfica de la costa de Huelva. Identificación de sectores erosivos durante los últimos años

Una de las principales características del litoral de Huelva es la presencia de amplias formaciones arenosas litorales que, en función de las características locales de la costa, componen una sucesión de playas, islas barrera y flechas litorales. Hasta la intervención humana durante el siglo xx, se ha identificado la existencia de un amplio cordón litoral dunar prácticamente continuo a lo largo de los 80 km de frente costero, que en la actualidad presenta una notable discontinuidad debido a la presencia, cada pocos kilómetros, de urbanizaciones con paseos marítimos, puertos deportivos o pesqueros, escolleras y diques.

La costa de Huelva está controlada por varios factores macroestructurales, como la presencia de una amplia plataforma continental de unos 50 km de ancho, con una gran capacidad para refractar el oleaje proveniente fundamentalmente del cuadrante SW (y, ocasionalmente, del SE). Esta plataforma es una prolongación del valle del Guadalquivir, que en los episodios glaciares del Cuaternario ha quedado, en su mayor parte, por encima del nivel del mar.

La orientación general de la línea de costa sigue dos ejes principales: un tramo casi rectilíneo de unos 30 km de longitud, desde Ayamonte hasta Huelva, siguiendo la dirección de los paralelos, y un tramo en el que una suave pero constante curva traza una línea convexa que acaba en las playas de Doñana, con una orientación de unos 50° de azimut. Esta curvatura resultará trascendental para explicar el transporte de los sedimentos arenosos, tal y como se revelará más adelante.

La combinación de las características de la línea de costa y de la dirección del oleaje implica la presencia de una corriente litoral de componente oeste, que es máxima en el primer tramo costero y que va perdiendo capacidad de transporte de sedimentos conforme se avanza hacia las costas de Doñana, donde la incidencia del oleaje llega a ser paralela a la línea de costa en el tramo final de este sector.

La existencia de una serie de fallas de componente N-S ha canalizado la mayor parte de los tramos finales de los principales ríos que avenan la provincia de Huelva, provocando un eficiente transporte de los sedimentos arenosos e incluso finos en los kilómetros finales de los cursos fluviales explicado por las pendientes relativamente fuertes que han de salvar en sus tramos finales. Tal es el caso de los ríos Guadiana, Carreras, Piedras, Tinto, Odiel e incluso Guadalquivir.

El río Guadiana es la principal fuente de sedimentos de la costa de Huelva debido a las características de la deriva litoral, que transporta la arena hacia el este. El drástico cambio de usos del suelo ocurrido desde aproximadamente el siglo II a.C. en la cuenca hidrográfica del Guadiana y del resto de ríos provocó un excepcional excedente sedimentario, que ha alimentado las costas onubenses. De este modo, no solo se compensó la tendencia erosiva propia de una costa adaptándose al nuevo nivel del mar existente desde el 6000 BP (Zazo *et al.*, 2013), sino que se produjo el desarrollo de elementos arenosos.

El excepcional excedente arenoso de la costa de Huelva, disponible durante los dos últimos milenios (Pendón, 2000), rellenó los numerosos entrantes de carácter estructural que finalmente fueron cerrados por flechas litorales e islas barrera, convirtiéndose en marismas mareales. En los sectores más expuestos se formaron playas que conectaban con las flechas litorales y las islas barrera existentes.

Más allá de las leves oscilaciones del nivel del mar (Zazo *et al.*, 2013) que provocaron sucesivos avances y retrocesos de la línea de costa, desde el 6000 BP se formó un extenso cordón dunar que discurrió de manera continua desde la desembocadura del Guadiana hasta la desembocadura del Guadalquivir (Vallejo, 2007).

En la actualidad, y tras la regulación mediante embalses de la red hidrográfica durante el transcurso del siglo XX, que ha eliminado la fuente de sedimentos original (es decir, el río Guadiana y resto de ríos menores), los procesos de transporte sedimentario se han mantenido, sustituyéndose las arenas avenadas por los ríos por los sedimentos de las propias formaciones arenosas litorales, esencialmente playas y dunas. Este proceso ha provocado una intensa erosión que en algunas zonas se ha cuantificado como superior a 2 metros/año. Asimismo, los diferentes usos intensivos del litoral, especialmente la construcción de paseos marítimos, han supuesto la eliminación de extensos tramos de las dunas originales, siendo sustituidas en ocasiones por dunas embrionarias que no han llegado a desarrollarse. Otra actividad que ha provocado una intensa erosión en el litoral ha sido el turismo, que en algunos tramos actualmente sin urbanizar (como el de Isla Cristina - La Antilla), y ante la ausencia de accesos regulados durante las décadas de 1980 y 1990, activó de manera intensa los procesos de deflación eólica. La consecuencia es el amplio descenso volumétrico de las dunas, que pasaron de una altura media de 10 metros a poco más de 1 metro a principios de la década de 2000 (Ojeda *et al.*, 2002).

Aproximadamente desde el año 2000, la Administración del Estado puso en marcha diferentes medidas para la protección y regeneración de varios sectores de dunas costeras de Huelva. Las principales medidas fueron de tres tipos: i) protección de dunas mediante sistemas de vallado para evitar el paso

a pie de usuarios de playas, ii) introducción de especies vegetales con capacidad para captar arena, como la *Ammophila arenaria*, y iii) regeneración de playas con arenas de la playa baja en los sectores de mayor interés turístico.

3. Técnica de fotografía repetida en el litoral de Huelva

a. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es evaluar los cambios ocurridos en las dunas costeras de la provincia de Huelva mediante el empleo de la técnica de fotografía repetida. Para ello ha sido necesario desarrollar un método de análisis que, una vez realizada la repetición de la fotografía, permita identificar los cambios ocurridos en las dunas y su entorno. Adicionalmente, se ha considerado como objetivo la caracterización de los cambios ocurridos y la incidencia de las iniciativas de gestión en los cambios observados.

b. Fuentes

Para el desarrollo de este trabajo se emplearon dos tipos de datos: fotografías y datos espaciales. Las fuentes de datos fotográficas son tres:

- a) Fotografías digitales realizadas a finales de 2001 con una videocámara digital SONY DCR-PC 100, pertenecientes al SIGLA (Sistema de Información Geográfica del Litoral de Andalucía), actualmente integrado en el Subsistema Litoral para la Rediam. El sistema tiene unas 7000 fotografías georreferenciadas y clasificadas en toda la costa andaluza.
- b) Fotografías analógicas realizadas en 1986 con una cámara fotográfica analógica de 35 mm e integradas en el mismo sistema. En total, existen unas 700 fotografías con estas características integradas en dicho sistema.
- c) Fotografías digitales de las nuevas vistas (54), realizadas con una cámara réflex digital Olympus E-420 con un sensor de formato 4/3 y utilizando una óptica zoom que cubre una distancia focal que va de los 14 mm a los 42 mm. Aplicando a esta óptica el factor de conversión del sensor completo —o *full frame*— (2x), se convertiría en un 28-84 mm, que cubre desde un angular hasta un teleobjetivo. El formato de archivo de salida elegido es el RAW, por tratarse de un archivo con compresión de datos sin pérdida de información. De este modo, todos los datos de la imagen quedan contenidos tal y como han sido captados por el sensor. En los metadatos de dichos archivos se cuenta con toda la información relativa a la toma de la fotografía (tipo de sensor de la cámara, distancia angular utilizada, velocidad de obturación, apertura de diafragma, etc.), lo que facilitará la posible futura repetición fotográfica.

Adicionalmente, se emplearon los archivos vectoriales, de tipo puntual, en los que aparecen las coordenadas de cada una de las fotografías tomadas en 1986 y 2001, incluidas en el mismo SIG que los datos anteriores.

c. Proceso metodológico general

El trabajo se desarrolló de acuerdo con el siguiente proceso metodológico:

1. Selección de las fotografías a repetir. De la base de datos de fotografías del litoral contenida en el SIGLA, se seleccionaron 54 del sector Isla Cristina - Matalascañas. Estas fotografías se escogieron en «visión progresiva», es decir, en función del lugar representado en las mismas, así como en relación con la disponibilidad en número y calidad de las fotografías existentes. A priori se cuenta con fotografías del SIGLA para todo el litoral andaluz. No obstante, este ámbito de trabajo se ha ido reduciendo en función del criterio de proximidad geográfica con respecto a la ubicación del fotógrafo y la proximidad entre los puntos a fotografiar, limitándose el ámbito final del estudio al litoral onubense. Las fotografías elegidas fueron tomadas a finales de 2001.

2. Localización de los puntos. Las coordenadas de los puntos elegidos se identificaron en el campo mediante ubicación GPS. Se exige una exploración del lugar visionando la fotografía original a través de una tablet, debido a que pueden acumularse errores de la toma del punto original (en 2001) y del posicionamiento en 2015. De este modo, se busca el punto exacto donde se realizó la fotografía de base. Con ello, se trata de encontrar lo que Mark Klett (2011) denomina the vantage point (el punto de ventaja), que es el lugar exacto donde el fotógrafo debe situarse para realizar una repetición fotográfica lo más fiel posible a la original. Este punto dependerá de las leyes de la óptica, especialmente de la distancia focal de la óptica de la cámara, y de la habilidad del fotógrafo para alinear los elementos presentes en la composición de las fotografías. Por ejemplo, en un hipotético paisaje donde se busque la repetición fotográfica, el fotógrafo deberá moverse hasta que los objetos presentes en los diferentes planos de la toma se alineen de la misma forma que lo hacen en la fotografía original, dando lugar a una misma composición en ambas fotografías. Si bien es cierto que la repetición del punto de vista exacto es un criterio fuerte de este trabajo, cuando no es posible, en refotografía se permite el desplazamiento de algunos metros, si con ello se consigue una vista más representativa de la transformación del lugar.

3. Realización de la repetición fotográfica. Se ha procedido mediante la instalación del trípode y la cámara en el punto exacto de la toma de la nueva vista, atendiendo al visionado de la fotografía original (a través de una tablet, herramienta que otorga mayor versatilidad a la hora de consultar los metadatos) y a los elementos permanentes del paisaje. El encuadre, esencial en esta fase, se realizó a través de ciertos elementos de referencia fijos, evitando elementos móviles como dunas o línea de costa, y empleando otros como infraestructuras, edificios o árboles. Jugando con las diferentes distancias focales del objetivo zoom, se consiguió una aproximación al encuadre de la vista original. La configuración de la cámara se realizó en modo manual, que permite un mayor control de la exposición (apertura de diafragma/velocidad de obturación, ISO), efectuándose medición puntual, que brinda mayor precisión (centrada en un 5 % de la imagen), y una selección del valor ISO base (100) para evitar ruido en la toma. Para lograr que la mayor parte de la fotografía estuviera bajo foco (nítida), se utilizó una apertura de diafragma pequeña (f10) y se halló la distancia hiperfocal para los parámetros seleccionados, localizando el punto de enfoque a la distancia resultante.

4. Análisis de los pares fotográficos. Contando con los pares fotográficos (la foto original de 1986 o 2001 y la repetición actual de 2015), se procedió a su análisis. En primer lugar, desde que se realizaron

las repeticiones fotográficas en el campo, se observó la imposibilidad de efectuar una toma exacta a la original, debido a las diferencias de sensores de las fotografías utilizadas. Pese a ello, el nivel de semejanza entre los pares fotográficos es bastante alto. El análisis de cada par de fotografías se lleva a cabo, por un lado, a nivel cualitativo, tratando de identificar cambios en el paisaje que se puedan asignar a variaciones relacionadas con: modificaciones volumétricas en las dunas, cambios en la forma o posición de la línea de costa, incremento o pérdida de vegetación, o modificaciones en las infraestructuras costeras. En segundo lugar, se realiza un análisis cuantitativo, que se desarrolla a continuación.

d. Procedimiento para el análisis de las dunas mediante fotografía repetida

El análisis cuantitativo de las dunas que aparecen en los pares fotográficos para el período estudiado (1986/2001-2015) se llevó a cabo mediante la elaboración de un índice sintético que incluye los dos tipos de variables principales observables en una fotografía: cambios morfológicos de las dunas, definidos por las variaciones en la pendiente y altura de las mismas, y cambios en la cubierta vegetal, definidos por la aparición, permanencia o desaparición de especies vegetales según su porte (herbáceo, arbustivo o arbóreo), así como por cambios en la extensión de la cubierta vegetal.

I) Cambios morfológicos en las dunas

La evaluación de los cambios morfológicos en las dunas requiere de la definición de criterios para asignar una puntuación a cada foto en relación con dos variables: cambios en la pendiente y cambios en la altura. En la tabla I quedan establecidos los criterios de valoración de los cambios de la pendiente de la duna con su correspondiente valor numérico.

PENDIENTE	INCREMENTO DE LA PENDIENTE		PENDIENTE ESTABLE	REDUCCIÓN DE LA PENDIENTE	
VALOR	-2	-1	0	1	2
CRITERIO	INCREMENTO PENDIENTE >30°	INCREMENTO PENDIENTE <30°	INCREMENTO PENDIENTE ±10°	DESCENSO PENDIENTE <30°	DESCENSO PENDIENTE >30°

Tabla 1. Criterios de asignación de valores para evaluar el incremento de la pendiente de la duna.

A los cambios observados en la pendiente de la duna costera se les asignaron valores que oscilan entre -2 y +2, resultando negativos cuando se observan incrementos de la pendiente en la fotografía repetida. Este incremento se considera como un factor negativo para la estabilidad de la duna y puede estar relacionado con procesos erosivos en la playa alta que afectan al pie de la duna. Por lo tanto, una reducción de la pendiente del frente de la duna se consideró como factor positivo, estando vinculado con excedentes sedimentarios (figura I).

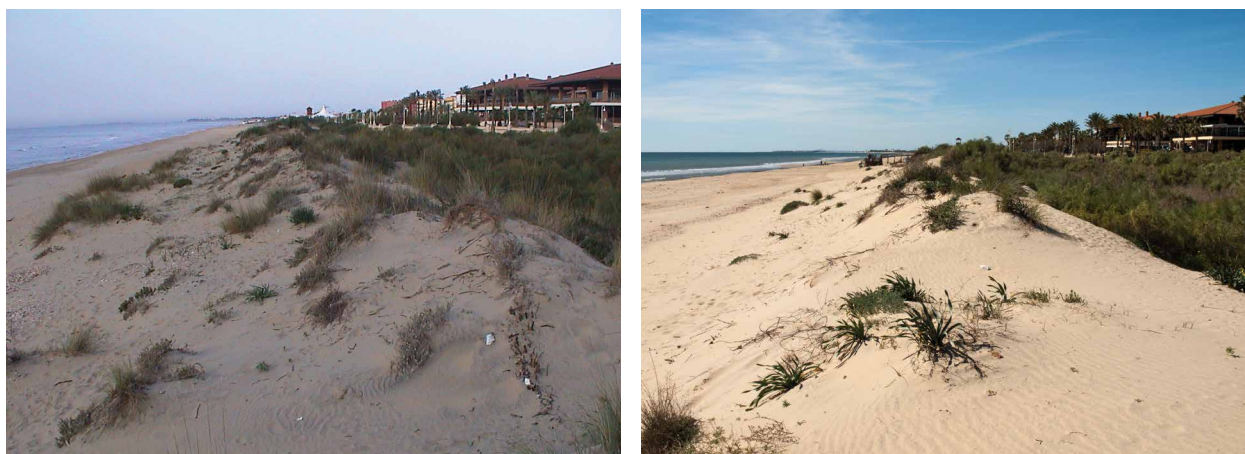


Figura 1. Incremento de la pendiente en una duna del sector occidental de La Antilla entre 2001 (izquierda) y 2015 (derecha).

El valor negativo máximo (-2) se asoció a aquellas dunas en las que se observó un incremento de la pendiente superior a 30°. El otro valor negativo de la tabla I (-1) coincide con las dunas que sufrieron un incremento de la pendiente de entre 10 y 30°. Se otorgó el valor 0 a aquellas dunas que mostraron una estabilización de la pendiente con un incremento o descenso no superiores a $\pm 10^\circ$. El software empleado para la medición de los cambios en la pendiente de la duna fue Adobe Photoshop CS6.

El segundo criterio del que dependen los cambios morfológicos de la duna es la altura. En la tabla II se recogen los criterios de valoración empleados para la evaluación de este factor. Al igual que en el caso de la pendiente de la duna, los valores de la variable oscilan entre -2 y +2. A las pérdidas de altura de la duna especialmente significativas (es decir, pérdidas de más de un metro) se les asignó el valor de -2, así como a la desaparición total de la duna, independientemente de la altura que hubiera tenido antes. Para los incrementos, la situación es semejante: aumentos de entre medio metro y un metro recibieron un valor de +1, e incrementos superiores a un metro, un valor de +2. Mientras, a cualquier oscilación inferior a +0,5 o -0,5 metros se le dejó un valor nulo, realmente más relacionado con las limitaciones de este método para medir, sobre fotografías, este tipo de cambios, que con las implicaciones geomorfológicas que tendrían cambios verticales de hasta 0,5 metros.

ALTURA VALORACIÓN DE LA ALTURA	PÉRDIDA DE ALTURA		ESTABILIDAD	INCREMENTO DE ALTURA	
	-2	-1		1	2
CRITERIO DE VALORACIÓN	DESCENSO DE LA ALTURA >1 m O DESAPARICIÓN TOTAL DE LA DUNA	DESCENSO DE LA ALTURA >0,50 m	AUMENTO O DESCENSO DE LA DUNA <0,50 m	AUMENTO DE LA ALTURA >0,50 m	AUMENTO DE LA ALTURA >1 m

Tabla 2. Criterios de asignación de valores para evaluar la incidencia del incremento de la altura de la duna.



Figura 2. Pérdida de más de un metro de la altura de la duna entre 1986 (izquierda) y 2015 (derecha), provocando la casi total desaparición de la duna en Isla Cristina.



Figura 3. Incremento de la altura de la duna valorado con +2 por ser superior a 1 metro. La Redondela, en 2001 (izquierda) y 2015 (derecha).

Al combinar ambas variables (cambios en la pendiente del frente de la duna y cambios en la altura de la duna) se obtuvo un índice de estabilidad morfológica de la duna, que viene definido por la tabla III.

ALTURA/PENDIENTE	-2	-1	0	1	2
-2	-4	-3	-2	-1	0
-1	-3	-2	-1	0	1
0	-2	-1	0	1	2
1	-1	0	1	2	3
2	0	1	2	3	4

Tabla 3. Criterios de asignación de valores para evaluar la evolución del estado de la duna en función de su altura y de la pendiente del frente de la misma. Los valores negativos indican dunas con cambios en su morfología, generalmente causados por la erosión, mientras que los valores positivos son indicadores de dunas en buen estado, generalmente asociadas a balances sedimentarios positivos.

II) Cambios en la cubierta vegetal

La evaluación de los cambios en la vegetación de las dunas se realizó mediante el análisis de dos variables: cambios en el tipo de estratificación vegetal dominante en la duna y su entorno inmediato, y modificación en la cobertura vegetal de la duna, medida en porcentajes de suelo cubierto por vegetación de la foto actual con respecto a la foto antigua. En la tabla IV se recogen los criterios de valoración de los cambios en el tipo de estratificación dominante.

CAMBIOS EN LA ESTRATIFICACIÓN VALOR	MENOS COMPLEJIDAD		ESTABILIDAD	MÁS COMPLEJIDAD	
	-2	-1	0	1	2
CRITERIO DE VALORACIÓN	DESCENSO DE DOS GRADOS: DE ARBÓREO A HERBÁCEO, DE ARBUSTIVO A NADA	DESCENSO DE UN GRADO: DE ARBUSTIVO A HERBÁCEO, DE HERBÁCEO A NADA	ESTABILIDAD EN LA ESTRATIFICACIÓN DE LA VEGETACIÓN	INCREMENTO DE UN GRADO: DE AUSENCIA A HERBÁCEO, DE HERBÁCEO A ARBUSTIVO	INCREMENTO DE DOS GRADOS: DE NADA A ARBUSTIVO, DE HERBÁCEO A ARBÓREO

Tabla 4. Criterios de asignación de valores para evaluar la incidencia de los cambios en la estratificación vertical de la vegetación en el estado de la duna.

La última variable controlada consistió en la evaluación de los cambios en la cantidad de superficie de duna ocupada por vegetación. Los valores asignados fueron negativos en el caso de una pérdida de superficie vegetada, y positivos para los casos de incremento de la superficie de la duna cubierta por vegetación. La tabla V sintetiza los criterios de valoración de esta variable.

CAMBIOS EN LA COBERTURA VALOR	MENOS COMPLEJIDAD		ESTABILIDAD	MÁS COMPLEJIDAD	
	-2	-1	0	1	2
CRITERIO DE VALORACIÓN	PÉRDIDA DE MÁS DE UN 50 % DE SUPERFICIE DE LA DUNA CUBIERTA POR VEGETACIÓN	PÉRDIDAS DE ENTRE UN 15 % Y UN 50 % DE SUPERFICIE DE LA DUNA CUBIERTA POR VEGETACIÓN	COBERTURA DE VEGETACIÓN SEMEJANTE A LA ANTERIOR (+15 % / -15 %)	INCREMENTO DE ENTRE UN 15 % Y UN 50 % DE SUPERFICIE DE LA DUNA CUBIERTA POR VEGETACIÓN	INCREMENTO DE MÁS DE UN 50 % DE SUPERFICIE DE LA DUNA CUBIERTA POR VEGETACIÓN

Tabla 5. Criterios de asignación de valores para evaluar la incidencia de los cambios en la cobertura de la vegetación en el estado de la duna.

De la combinación de ambas variables (modificaciones en la estratificación vertical y en la superficie cubierta por vegetación) se obtuvo un índice de estabilidad de la vegetación de la duna, que viene definido por la tabla VI.

ESTRATIFICACIÓN/ COBERTURA	-2	-1	0	1	2
-2	-4	-3	-2	-1	0
-1	-3	-2	-1	0	1
0	-2	-1	0	1	2
1	-1	0	1	2	3
2	0	1	2	3	4

Tabla 6. Criterios de asignación de valores para evaluar la evolución del estado de la duna en función de la vegetación de la misma. Los valores negativos indican dunas con incrementos en su vulnerabilidad por pérdida de calidad o de superficie de la vegetación, mientras que los valores positivos son indicadores de dunas en buen estado, generalmente asociadas a balances sedimentarios positivos.

III) Evolución de las geoformas dunares

Por último, los resultados obtenidos con cada uno de los dos subindicadores (morfología y vegetación) fueron sintetizados en un indicador final de evolución de la duna, resultado de la suma de ambos subindicadores. Aunque el indicador final es una síntesis de la evolución reciente del estado de la duna, la interpretación de los resultados obtenidos exige de la consideración de los dos subindicadores, así como de las cuatro variables consideradas.

Por último, los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente para comprobar la incidencia de las políticas de gestión de dunas, y cada par fotográfico se agrupó en torno a una de las siguientes categorías:

Tipo 1) Dunas que han sido objeto de políticas de gestión encaminadas a la protección (vallado) y/o regeneración de la vegetación local (introducción de *Ammophila arenaria*).

Tipo 2) Dunas que no han sido objeto de políticas de gestión, situadas frente a un acantilado.

Tipo 3) Dunas que no han sido objeto de gestión, no situadas frente a un acantilado.

A estos tres grupos se les realizó un análisis de fiabilidad estadística mediante el test de chi-cuadrado, para un nivel de confianza del 95 %.

Asimismo, se efectuó un análisis de regresión lineal entre los valores medios obtenidos para cada uno de los parámetros medidos en la refotografía y las tasas de erosión registradas en el período 1956-2007, con la intención de discernir la relevancia de las acciones de gestión de dunas realizadas en la zona de estudio.

4. Resultados obtenidos y discusión

Se analizaron 56 fotografías en los emplazamientos que aparecen en la figura VII. Al realizar el análisis fotografía a fotografía, los resultados obtenidos muestran evidentes patrones espaciales, siendo común identificar puntos agrupados con valores idénticos al estar refotografiándose el mismo fenómeno desde diferentes ángulos.

Para evitar que en el análisis estadístico se otorgara un mayor protagonismo a las áreas con más fotografías que a aquellas en las que se hicieron menos, se calculó un valor medio para cada uno de los enclaves analizados. Espacialmente, no ha sido posible identificar ningún patrón en la distribución de esta variable (figura IV).

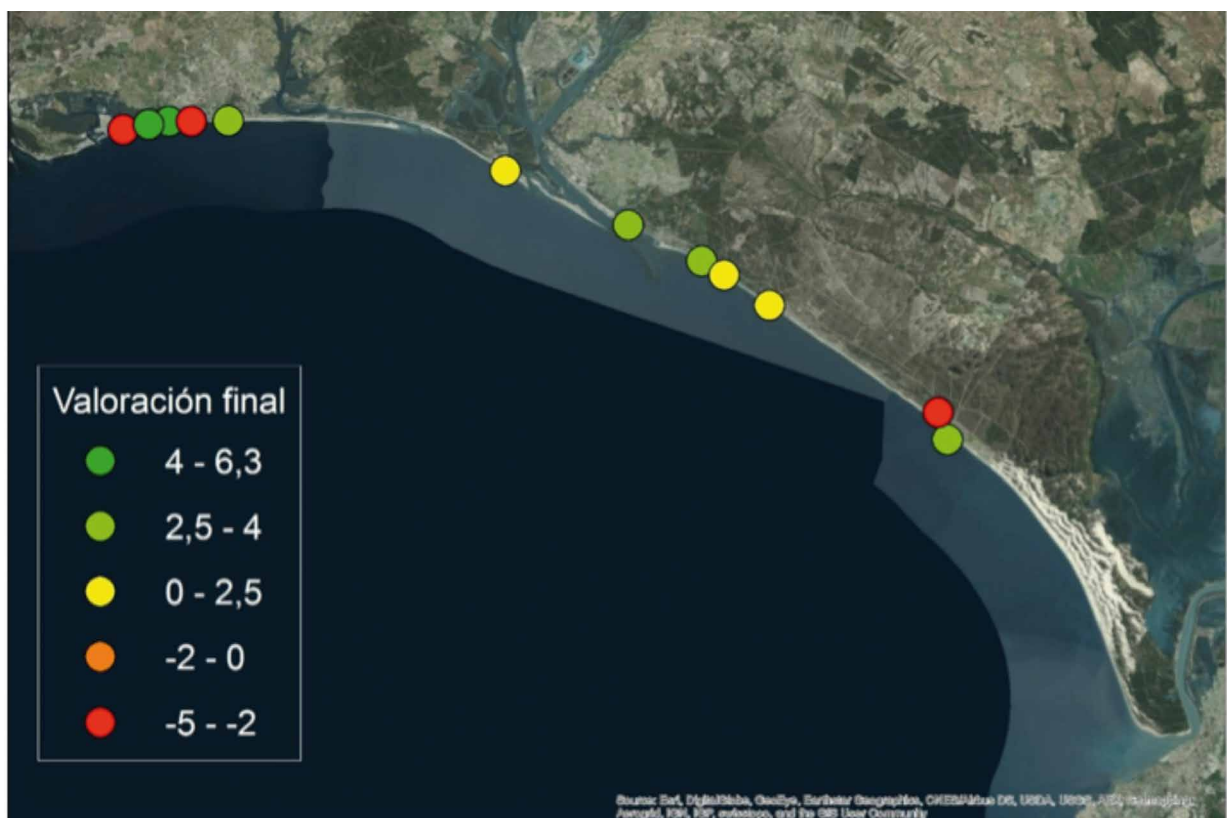


Figura 4. Mapa de valoraciones finales obtenidas en cada área de estudio.

Sin embargo, en la tabla VII, al relacionar los resultados obtenidos con la tipología de gestión (o la ausencia de esta), parece existir una clara relación entre las áreas tipo 1 (con valores muy altos, que indican un desarrollo de la duna), tipo 2 (con valores positivos más bajos que los anteriores, lo cual indica cierta estabilidad en la duna) y tipo 3 (con valores negativos en la evolución reciente de la duna).

ÁREA		TIPO	TOTAL	EROSIÓN	ALTURA	PENDIENTE	VEGETAL	COBERTURA	FORMACIÓN
1	MATALASCAÑAS	3	-5,0	-3,0	-2,0	-1,0	-2,0	-1,0	-1,0
2	MATALASCAÑAS II	1	4,0	0,7	0,0	0,7	3,3	1,7	1,7
3	PASTIL DE I	2	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
4	PASTIL DE II	2	2,5	2,2	1,6	0,6	2,6	1,6	1,0
5	PARADEL	2	2,5	0,5	1,0	-0,5	2,0	1,0	1,0
6	MAZAGÓN ESTE	1	4,0				4,0	2,0	2,0
7	MAZAGÓN OESTE	2	2,7	1,3	1,0	0,3	1,3	1,0	0,3
8	PUNTA UMBRÍA	2	2,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0
9	DESINTELLA	1	3,0	0,0	0,0	0,0	3,0	2,0	1,0
10	LA REDONDELA I	1	6,3	3,3	1,5	1,8	3,0	2,0	1,0
11	LA REDONDELA II	1	5,7	3,0	1,3	1,7	2,7	1,7	1,0
12	ISLANTILLA	3	-2,0	-0,5	0,5	-1,0	-1,5	-1,5	0,0
13	ISLA CRISTINA	3	-5,0	-4,0	-2,0	-2,0	-1,0	0,0	-1,0

Tabla 7. Resultados obtenidos.

En este sentido, la tabla VIII es particularmente reveladora, ya que al ordenar los resultados obtenidos se comprueba que todos los valores más altos corresponden a la gestión tipo 1, seguida de la tipo 2 y, por último, la tipo 3.

ZONA 10	LA REDONDELA I	1	6,3
ZONA 11	LA REDONDELA II	1	5,7
ZONA 2	MATALASCAÑAS II	1	4,0
ZONA 9	LA ANTILLA OESTE	1	3,0
ZONA 6	MAZAGÓN ESTE	1	4,0
ZONA 4	ASPERILLO	2	2,5
ZONA 7	MAZAGÓN OESTE	2	2,7
ZONA 8	PUNTA UMBRÍA	2	2,0
ZONA 5	PLAYA DE EL PARADOR	2	2,5
ZONA 3	PICO DEL LORO	2	1,0
ZONA 12	ISLANTILLA	3	-2,0
ZONA 1	MATALASCAÑAS	3	-5,0
ZONA 13	ISLA CRISTINA	3	-5,0

Tabla 8. Resultados obtenidos.

Se realizó un análisis estadístico mediante el test de t-Student para comprobar si, como parece a simple vista, cada una de las tres categorías de gestión de dunas propuestas en la metodología (1. dunas que han recibido medidas de gestión encaminadas a su protección y regeneración, 2. dunas que no han recibido este tipo de medidas y están situadas frente a un acantilado, y 3. dunas que no las han recibido y no están situadas frente a un acantilado) implican evoluciones diferentes en la situación de la duna, con un 99 % de confianza. Puesto que este test compara dos pares de muestras, fue necesario realizarlo en tres ocasiones, entre los grupos 1 y 2, 2 y 3, y 1 y 3.

Los resultados de este test indicaron, en primer lugar, que las muestras analizadas pertenecen a diferentes poblaciones en cuanto a la evolución reciente de las dunas. Así pues, la gestión que ha recibido cada duna es un factor crítico en la evolución reciente de la misma. Asimismo, los resultados obtenidos indican que la evolución más positiva de las dunas analizadas se encuentra en aquellas que han recibido algún tipo de actividad de gestión (tipo 1), seguidas de las que no la han recibido, pero tienen un acantilado detrás (tipo 2).

La explicación a este comportamiento no parece residir tanto en variables geomorfológicas como en el número de personas que transitan la superficie dunar. En las dunas protegidas, el tránsito de personas es nulo (por estar valladas). En las dunas no protegidas pero con un acantilado a su espalda, el tránsito es muy bajo (por no haber destino al que dirigirse para el turista medio). Por último, en las dunas no protegidas y sin acantilado a la espalda, el tránsito de personas es elevado (es decir, con acceso libre e indeterminado a carreteras, hoteles, áreas de recreo, etc.).

Asimismo, en la correlación entre las tasas de erosión registradas (Fraile y Ojeda, 2007) y las puntuaciones otorgadas a cada área, se obtuvo una recta de regresión lineal con un coeficiente de correlación lineal inferior

a 0,3, que no resulta significativo para el número total de datos analizados. Este resultado permite deducir que los cambios observados en las dunas no están relacionados con las tasas de erosión registradas.

Analizando por sectores, el área 1, situada en la duna costera de Matalascañas, muestra modestos valores negativos, debido a la ausencia de una duna de dimensiones considerables ya en 2001. En 2015, la protoduna ha sido sustituida en la mayor parte de las zonas estudiadas por una escollera que protege el paseo marítimo (figura V).

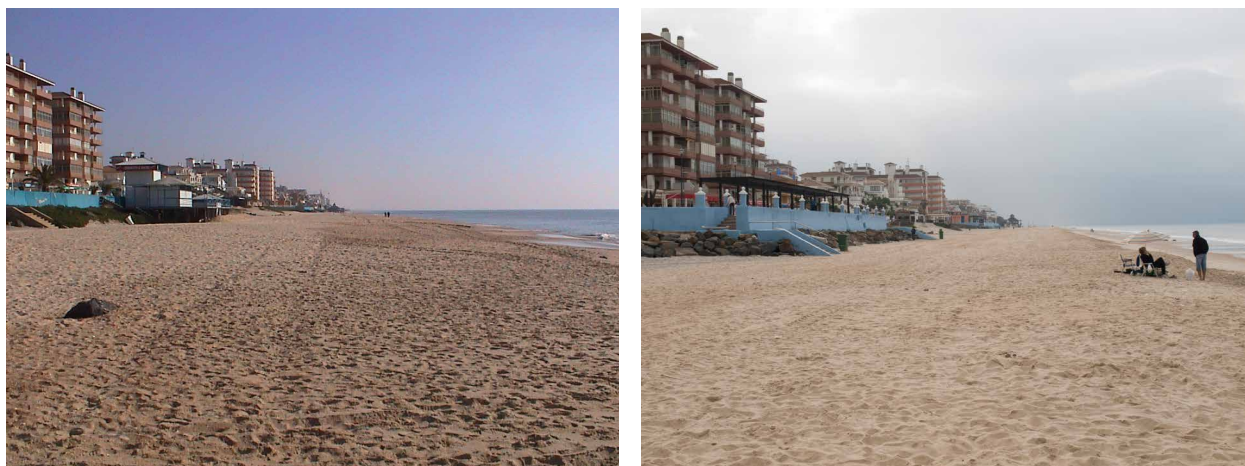


Figura 5. Duna del paseo marítimo de Matalascañas en 2001, y sustituida en 2015 por una escollera.



Figura 6. Duna rampante de Matalascañas antes de la protección (2001) y tras esta (2015).

Sin embargo, en el límite occidental de la urbanización de Matalascañas (área 2), se identifican una serie de dunas rampantes que, fruto de una intervención centrada en la delimitación de los senderos peatonales mediante plataformas y en el vallado de su perímetro, han experimentado un importante incremento de la cubierta vegetal (figura VI) e incluso del volumen de arena existente.

En la Playa de Castilla, el sector de El Loro muestra notables avances en la volumetría de las dunas en 2015 con respecto a 2001 (figura VII). Las protodunas entonces existentes han acumulado una notable cantidad de sedimentos, obteniendo la variable morfología un valor medio de 1,7 en el conjunto de esta amplia zona de estudio. Asimismo, se ha producido un significativo cambio en la cobertura vegetal sobre las dunas, que pasa de ser casi totalmente inexistente a ser tan abundante que prácticamente

las cubre. Es importante destacar que en esta playa seminatural, que presenta una importante afluencia de turistas en los meses centrales del año, no se ha producido ningún tipo de intervención humana encaminada a la gestión de las dunas (está incluida, por tanto, en el tipo 2).



Figura 7. Dunas embrionarias al pie del Acantilado de El Asperillo en 2001 (izquierda) y dunas en el mismo lugar en 2015 (derecha).

Las dunas analizadas en Mazagón muestran importantes cambios (figura VIII) fruto de diferentes tipos de intervención humana, no siempre encaminadas a restaurar la duna. En el sector más oriental de la costa de Mazagón se ha producido un cambio total en el perfil transversal de la playa, que en 2001 presentaba un aspecto tendente a la erosión, con un microacantilado construido sobre areniscas terciarias. Las notables tasas de erosión costera registradas en este sector (Fraile y Ojeda, 2007) explican parcialmente la presencia del microacantilado en 2001. La situación en 2015 es radicalmente diferente, al aparecer una duna artificial de reciente creación, vegetada con especies exóticas. La rareza de esta situación ha obligado a no considerar los resultados obtenidos como significativos, por lo que no han entrado en los análisis realizados.

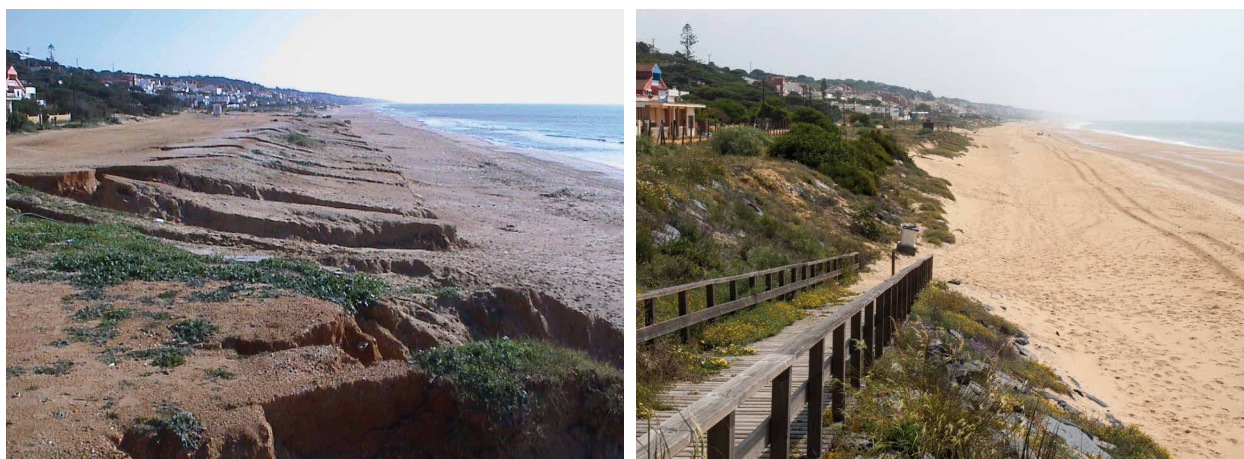


Figura 8. Dunas de Mazagón en 2001 (izquierda) y 2015 (derecha).

El tramo occidental de la playa de Mazagón se encuentra al abrigo de los temporales del cuadrante SW por la presencia del puerto deportivo de esta localidad. El área de estudio resulta tan cercana al puerto que el principal efecto de los temporales del cuadrante SE supone un incremento neto del balance sedimentario

de esta zona. Adicionalmente, se han realizado tareas de gestión en la mejora de los accesos a la playa, lo cual ha conllevado una protección para las dunas de la zona, tal y como se observa en la figura IX.



Figura 9. Dunas de Mazagón en 2001 (izquierda) y 2015 (derecha).

En Punta Umbría, la intervención humana no ha consistido en tareas de gestión, puesto que el área analizada presenta las mismas medidas en 2001 que en 2015, es decir, ausencia de paseo marítimo, pero también de vallado en el perímetro de las dunas (figura X). No obstante, las especies exóticas introducidas, como la uña de león (*Carpobrotus edulis*), han colonizado la totalidad de las dunas analizadas. En este caso, los valores obtenidos son positivos en la valoración de su cambio tanto en los parámetros morfológicos como en los vegetales. Sin embargo, la aparición de especies alóctonas no se puede considerar como una intervención derivada de la gestión, por lo que se ha eliminado de los análisis estadísticos realizados.



Figura 10. Dunas de Punta Umbría en 2001 (izquierda) y 2015 (derecha).

La Antilla presenta sectores lo suficientemente diferenciados como para tratar las dunas por separado. En su sector oriental no fue posible apreciar la existencia de dunas ni en 2001 ni en 2015, por estar ocupado por viviendas el lugar que, de acuerdo con el perfil transversal de la playa, correspondería a la duna costera. No obstante, en 2015 se han observado peculiares intervenciones en materia de gestión, al generarse dunas embrionarias de carácter artificial en las parcelas sin edificar (figura XI).

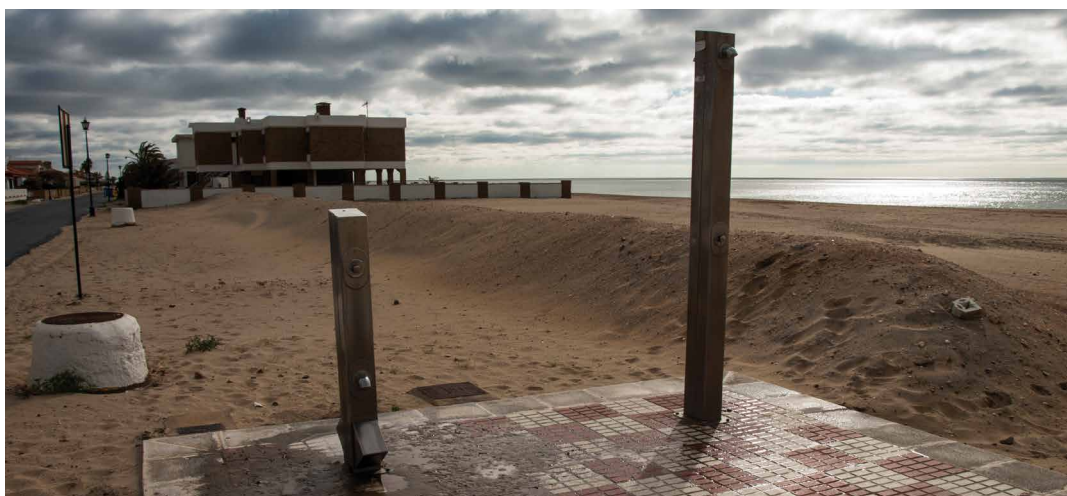


Figura 11. Detalle de las microdunas en La Antilla en 2015.

El sector central de la playa de La Antilla evidencia claros síntomas de degradación del cordón dunar, obteniéndose valores negativos tanto en las variables relativas a la morfología como a la vegetación en la mayoría de las áreas refotografiadas (figura I). En el sector occidental se han observado profundos cambios (figuras XII y XIII), con la construcción de un paseo marítimo peatonal en lugar de la carretera existente en 2001, lo que ha conllevado la regeneración de la duna y el desarrollo de un abundante estrato herbáceo sobre esta.

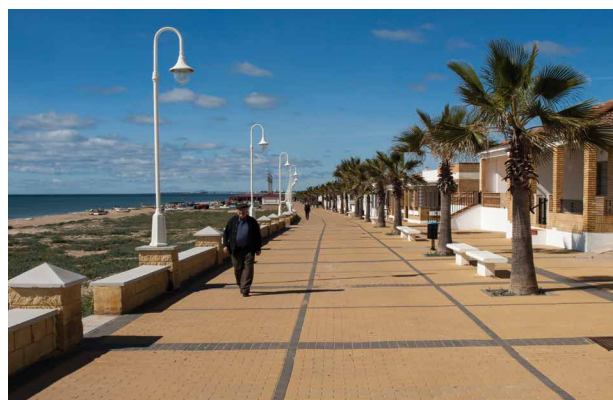


Figura 12. La Antilla en 2001 (izquierda) y 2015 (derecha).



Figura 13. La Antilla en 2001 (izquierda) y 2015 (derecha).

En el tramo de La Redondela se aprecian los cambios más significativos, coincidentes con tareas de gestión encaminadas a la protección de las dunas y la regeneración de la vegetación autóctona, en este caso, de *Ammophila arenaria* (figura XIV). Todas las fotografías repetidas en esta zona presentan valores muy altos en ambas variables, identificándose los cambios positivos más amplios de todas las áreas estudiadas. En 2001, se observa una microduna recién protegida por una valla, con *Ammophila arenaria* recién introducida y sembrada en ángulo de 45° para asegurar una mayor captación de arena, al discurrir en perpendicular a la dirección de los vientos dominantes. En 2015, los resultados de esta medida de gestión son notables, al observarse la formación de dunas con alturas que superan en más de 1 metro la que tenían en 2001. Asimismo, se observa una mayor cobertura vegetal y una formación vegetal significativamente más compleja, con la presencia de arbustos, e incluso árboles, en los espacios interdunares situados tras la duna costera (figuras XIV y XV).



Figura 14. Dunas de La Redondela en 2001 y 2015.



Figura 15. Dunas de La Redondela en 2001 y 2015.

En Isla Cristina, la fotografía de referencia fue tomada en 1986, y no en 2001. En cualquier caso, muestra uno de los cambios más extremos que se han observado, con la absoluta destrucción de una duna de más de 5 metros de altura y su sustitución por un paseo marítimo (figura II)

5. Conclusiones

Se han observado diferencias significativas en la evolución reciente de diferentes tipos de dunas en función de dos variables: 1) las políticas de gestión ocurridas en el período de análisis y 2) la presencia o ausencia de acantilados a la espalda de las dunas.

En este sentido, en los grupos de dunas estudiados se ha identificado que el principal agente erosivo es el tránsito de personas, al obtenerse valores positivos tanto en las dunas protegidas como en aquellas sobre las que no caminan usuarios de playa. Por lo tanto, las políticas de gestión de dunas resultan de una importancia extraordinaria para proteger y regenerar esta geoforma en los tramos del litoral onubense analizados.

La ausencia de relación lineal entre los valores de estabilidad de la duna y la erosión costera no está causada por una desconexión entre los procesos erosivos a los que siguen estando sometidas las playas y las dunas costeras de Huelva, sino por la existencia de una gestión de dunas eficiente, capaz de transformar la evolución de una duna incluso en condiciones de bajas entradas de sedimentos en el sistema. Por otra parte, será necesario estudiar si la retención de arena en la duna costera ha supuesto la disminución del volumen sedimentario de las playas baja, media y alta en los tramos analizados.

Metodológicamente, el empleo de técnicas de fotografía repetida ha demostrado ser una herramienta útil para el análisis de procesos espaciales, incluso para períodos relativamente cortos. No obstante, será preciso testar este tipo de métodos en otras zonas, así como en períodos de diferente duración, para determinar su alcance en ámbitos menos dinámicos.

Agradecimientos

La tercera autora de este trabajo está financiada por un contrato de investigador postdoctoral competitivo de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España).

Referencias

Bryan K, La Rue EC. Persistence of Features in an Arid Landscape: The Navajo Twins, Utah. *Geographical Review*. 1927; 17 (2):251-257.

Carré J, Metailié JP. De los paisajes de ayer a los paisajes de mañana. Metodología de un observatorio fotográfico para el análisis de las dinámicas paisajísticas: El valle de Vicdessos, Pirineos de Ariège (Francia). *Cuadernos Geográficos*. 2008; 43:123-149.

Clements FE. *Research methods in ecology*. Lincoln: The University Publishing Company; 1905.

Field WO. Observations on Alaskan coastal glaciers in 1935. *Geographical Review*. 1937; 27: 63-81.

Fraile Jurado P, Ojeda Zujar J. La evolución de la línea de costa en la fachada atlántica andaluza entre 1956 y 2004. In: Gómez Pujol L, Fornós J J, editors. *Investigaciones recientes (2005-2007) en geomorfología litoral*. Palma de Mallorca; 2007. pp. 55-60.

Pendón G. La costa de Huelva. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva; 2000. pp. 31-64.

Webb RH, Boyer DE, Turner RM, editors. *Repeat photography: methods and applications in the natural sciences*. Island Press; 2010.

Gestión *versus* erosión costera en la isla de Oléron: la playa de Gatseau (Francia)

Carlos Arteaga Cardineau

Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Madrid

1. Resumen

El objeto de este trabajo consiste en exponer los últimos resultados obtenidos en la playa de Gatseau (isla de Oléron, Francia), relativos a la fuerte erosión que sufre. Más de 17 m/año de recule litoral para el período 2006-2014 ponen en riesgo la continuidad de un espacio preservado por la Red Natura 2000 y que parece estar al borde de su desaparición. También se discute sobre los potenciales factores desencadenantes (diques, escolleras y otras obras) y en torno a la necesidad de una planificación litoral que integre distintos ámbitos no solo costeros, sino fluviales también.

2. Introducción y objetivos

la isla de Oléron emerge en las aguas atlánticas, cierra la pequeña Bahía de Marennes-Oléron, de unas 3000 hectáreas, apenas a 3 km de la costa francesa. Concretando más aún, se localiza en el borde septentrional del Departamento de la Charente-Maritime. Con más de 174 km², dibuja un rombo cuya diagonal superior (o longitud) es de unos 33 km, y la inferior de unos 11 km (anchura), ambas en su máxima extensión. Posee 90 km de perímetro costero en su mayoría de naturaleza arenosa, aunque al norte afloran acantilados conformados por roquedos mesozoicos y pleistocenos. En principio, las arenas que la cubren construyendo importantes conjuntos dunares y playeros tienen múltiples áreas fuente, entre las que destacan los sistemas fluviales de los ríos de la Seudre, Charente, Sèvre Niortaise y Garona. El estrechamiento isla-continente y la confluencia de sedimentos transportados por las corrientes desde sectores más septentrionales con aquellos procedentes de la desembocadura del río Garona al sur, culminan con la formación de espectaculares complejos de médanos que yuxtaponen incluso dunas actuales-subactuales con otras fósiles de génesis holocena y de edad muy antigua. Por otro lado, existe un espacio de marismas muy característico que hace siglos fueron antropizadas para la explotación de la sal (ya desde tiempos de los romanos y, en especial, durante el período napoleónico). Estas marismas también favorecen la cría de gambas y la ostricultura, siendo esta última uno de los principales recursos económicos de Oléron.

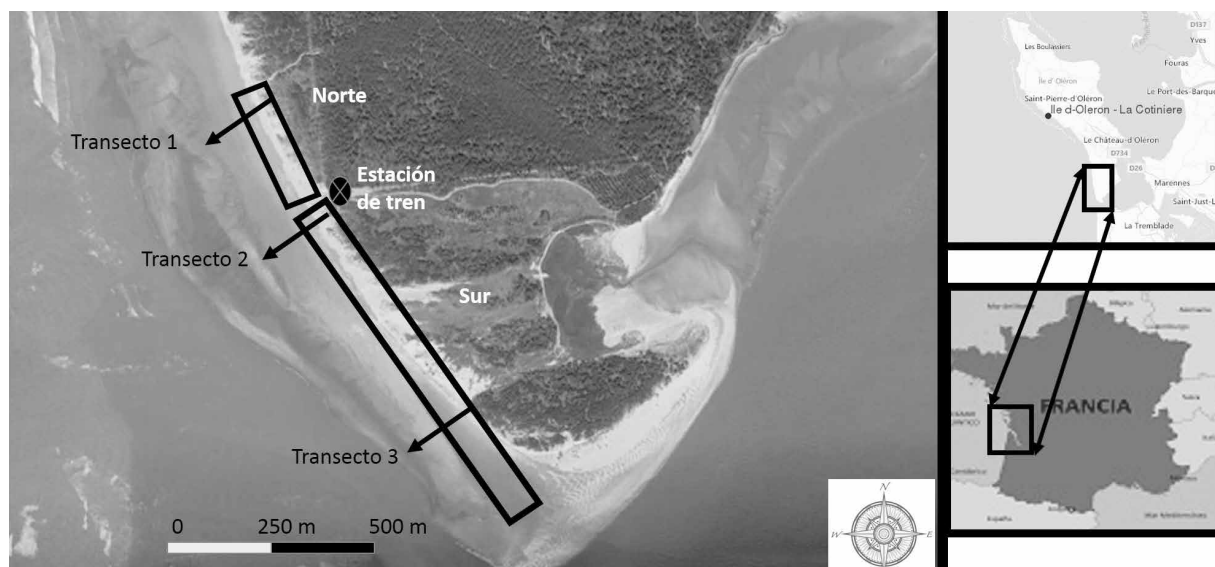


Figura 1.- Localización de la playa de Gatseau en la isla de Oléron, Francia y transectos estudiados.

La población residencial de la isla se estima en unos 21 700 habitantes (CCIO, 2009). Como se ha dicho, tiene como principales actividades económicas aquellas derivadas del marisco (ostras y mejillones que poseen un alto prestigio en Francia) aunque la completan: la pesca, el vino y otros alcoholes (Pineau de Charentes, coñac), la caza, y principalmente, desde la segunda mitad del siglo pasado, el turismo. En efecto, su patrimonio cultural y natural es altamente atractivo por ser muy rico y variopinto: ciudadelas construidas por el Cardenal Richelieu y levantadas por el extraordinario arquitecto del Rey Sol, Vauban; búnkeres pertenecientes al denominado «Muro Atlántico» de la II Guerra Mundial, etc. Todo ello ha supuesto un atractivo turístico que fue potenciado a raíz de la construcción de un puente que unió la isla con el continente en el año 1966.

La isla de Oléron tiene por marco climático el oceánico, donde las precipitaciones en función del año oscilan entre 710 mm y 1000 mm anuales. Las temperaturas son muy suaves con una media anual de unos 13 °C. Así, en enero, las temperaturas no son excesivamente frías por el efecto termorregulador del mar (en torno a 6 °C) y los veranos son relativamente calurosos (temperaturas por encima de los 20 °C en agosto). Apenas hay 10 días de heladas al año y son frecuentes las nieblas densas por las diferencias térmicas entre el mar y el aire suprayacente. Por otro lado, en verano existen importantes contrastes térmicos entre la isla y el dominio continental próximo, donde pueden existir diferencias de 10-12 °C (IGN-INF, 2013; Infoclimat, 2015). Este hecho es importante, pues facilita situaciones tormentosas muy violentas que, como se verá con posterioridad, pueden prolongar los procesos erosivos costeros más allá del invierno.

Por otro lado, la ínsula es acreedora de importantes espacios naturales protegidos: ZNIEFF-Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique, Natura 2000, Site classé, etc. Estos son a su vez gestionados por distintos organismos como el Conseil général, la ONF (Office national des forêts), el Conservatoire du littoral, etc. Es en este contexto, al sur de Oléron, donde se emplaza la playa que trataremos: Gatseau. Si bien el norte es rocoso como se dijo, la franja meridional de la isla es en extremo arenosa y termina en una flecha litoral que ha sufrido significativos cambios en las últimas centurias. El *spit* arenoso guarda a sotavento una bahía reducida llamada de «Maumusson», que al parecer procede toponímicamente de «mal paso», recordando las decenas de naufragios que en este sitio se han dado desde tiempos casi inmemoriales. Gatseau es actualmente una de las Reservas Natura 2000, dentro del espacio protegido «Dunes et forêts de l'île d'Oléron» (*Dunas y bosques de la isla de Oléron*), de extensión cercana a 2000 hectáreas y cuya gestión está en manos de la ONF. Incorpora no solamente un sistema duna-estuario más la bahía, sino un bosque de pinos y robles de alto valor ecológico a día de hoy.

Pero Oléron supone un marco incomparable para entender la eficacia de la fitoestabilización favorecida por el hombre frente a la constante amenaza de la erosión costera. En efecto, en sus flancos noroeste (bosque y dunas de Dominó), oeste-suroeste (bosque y dunas de Saint-Trojan) y noreste (bosque de Saumonards), fueron plantados hace más de 130 años un conjunto de hileras de pino marítimo que, a priori y hasta los años ochenta del pasado siglo, fueron de un notable éxito fitoestabilizador. Esta labor supuso la ganancia al mar de miles de hectáreas (unas 2800) que han sido conservadas con extremo cuidado por parte de los organismos gestores.

No obstante, la situación actual desde entonces ha dado un vuelco realmente dramático y en especial desde los años noventa: el retroceso costero es muy acentuado y afecta prácticamente a toda la isla (Prat, 2004; Arteaga, 2007; PAPI, 2013). Sus playas, podemos decir, tienen las tasas de erosión más elevadas del mundo

solo asimilables a otras existentes en Namibia, Estados Unidos o Brasil (Arteaga, 2011), perdiéndose así, en los últimos 10-20 años, prácticamente todo lo que se había ganado en un siglo y donde el ejemplo más característico lo representa Gatseau. Efectivamente, desde el año 2000 llevo realizando un seguimiento o monitorización de la evolución de la costa de la isla de Oléron (Arteaga, 2007), y la playa de Gatseau mostró un grado de degradación y retranqueo realmente importante. Por ello, el objeto de este trabajo consiste en aportar nuevos datos y actualizar para el período 2008-2014 la evolución de esta playa que en tiempos pasados fue un verdadero ejemplo de protección y regeneración dunar.

En cierta forma, por su historiografía esta playa se nos presenta como un laboratorio perfecto por diversas cuestiones que se irán desentrañando en este trabajo.

3. Metodología y objetivos

Principalmente, la fase inicial implicó:

1- Trabajo de campo con apoyo de GPS, con la identificación de diversos puntos reconocibles en cartografía e imágenes satélite a las que se tuvo acceso. Se pretendía así localizar y monitorizar la evolución de la costa en relación a edificaciones próximas a la playa: búnkeres de la II Guerra Mundial, viviendas, cruces de caminos y carreteras, etc.

2- Teniendo en cuenta que la isla es un continuo arenoso de 13 km hasta que conecta con Gatseau, se ha optado por investigar el tramo más sensible y variable de unos 1,2 km y coincidente con el *spit* final y punta sur de la isla.

La información cartográfica y documental abarca desde el siglo XVII con distintos mapas históricos, hasta la actualidad, y ha sido tratada y georreferenciada en AUTOCAD en un primer momento y, posteriormente, en ArcGIS 9.2. La metodología puede ser visible en la publicación del año 2007 (Arteaga, 2007). No obstante, al centrarnos en la playa de Gatseau por su alto interés se inició un reconocimiento mayor del sistema dunar con inventariado de las principales especies vegetales y grado de fitoestabilización, así como la extensión que tenían a partir del análisis de transectos más o menos perpendiculares a la línea de playa. Hay que lamentar que no se pudo completar a causa de la rápida desaparición que sufrieron todas las zonas de inventariado.

Para esta campaña 2006-2014, la existencia de búnkeres o *blockhaus* de la II Guerra Mundial ha sido de gran ayuda en la monitorización (figura 5). Resultan de gran utilidad, como lo muestran trabajos realizados en otras partes de la costa atlántica y mediterránea (Migniot y Lorin, 1979; Petit-Maire y Marchand, 1993; Regnauld *et al.*, 2004; Poulain *et al.*, 2011). En el caso que nos ocupa, los búnkeres de Gatseau se hallaban tapados y ocultos por las masas dunares y la fitoestabilización del bosque. No se conocía más que uno hasta el año 2006, momento en el cual la erosión puso al descubierto otros dos edificios coincidiendo en el tiempo en que iniciaba la campaña de campo. Su situación en la punta sur más extrema de la playa e, inicialmente, donde el oleaje es menos activo por su orientación norte-sur (perpendicular al predominante), hizo pensar que su seguimiento podría resultar de interés (figura 1).

Se debe reconocer el apoyo de una herramienta tan útil como Google Earth en su opción de «Imágenes históricas», que si bien debe tomarse con precaución, tiene un excelente solapamiento en el tramo sur de la isla de Oléron. Así lo muestran 116 puntos conocidos y georreferenciados que se yuxtapusieron (de cartografía, de GPS e imágenes satélite Google de los años 2006 y 2014), y en los que el error fue inferior al metro.

Por otro lado, diferenciaremos para el estudio de la playa 2 espacios de análisis con 3 transectos de seguimiento, establecidos a partir de las disimilitudes en la velocidad del proceso erosivo vistas en campañas pasadas (figura 1):

- **La playa norte**, la porción más pequeña monitorizada de orientación NW-SE y de unos 300 m de largo. Como se verá posteriormente, presenta las tasas erosivas de menor incidencia. Abarca desde la estación del «pequeño tren» turístico, único modo de llegar a la playa (además de a pie), hasta la intersección de la playa con el camino norte que atraviesa el bosque de Saint-Trojan. El seguimiento se realizará a partir del transecto 1.

- **La playa centro-sur**, de unos 900 m de longitud, se extiende desde dicha estación de tren hasta el puntal mismo de la isla. En este segmento se monitorizarán 2 transectos (transectos 2 y 3) y el retranqueo de la playa en relación a los búnkeres.

4. la playa de Gatseau, características y balance sedimentario

4.1. Condiciones del litoral próximo

La playa de Gatseau, en principio, tiene una situación privilegiada como centro receptor de sedimentos. Varias corrientes litorales vienen a confluir en sus inmediaciones favoreciendo la deposición, aunque dos son de cierta importancia: la corriente de deriva norte-sur de la isla y la corriente litoral adosada al continente en sentido S-N que tiene por origen la desembocadura del río Garona. Ambas son ricas en sedimentos, destacando la S-N con una concentración de sedimentos entre 10 y 40 mg (Omer y Pajot, 2000). La profundidad batimétrica del contorno litoral de Oléron es muy baja, descendiendo excepcionalmente hasta los 10 m. Esto favorece temperaturas en el agua ocasionalmente por encima de los 25-26 °C en verano y condiciones microclimáticas muy agradecidas por los turistas.

El 80 % del oleaje incidente en Gatseau es WNW, y muy secundariamente tiene direcciones N, NW y W (Bertin *et al.*, 2004; Billeaud *et al.*, 2005; Musereau *et al.*, 2007). La altura media de las olas es de 1,5 m, estando el 75 % de las mismas por debajo de los 2 m de altura. Se estima que la ola máxima es de 6 m en situaciones de temporales muy activos, aunque algunos autores llegaron a establecer olas de hasta 10 m para la ciclogénesis explosiva Xynthia del año 2010. La dirección predominante del oleaje favorece la formación de una deriva litoral procedente del norte. Por su parte, el rango mareal oscila entre 2 y 5 m, de carácter semidiurno, aunque excepcionalmente con mareas muy vivas la lámina de agua puede ascender hasta los 6 m.

4.2. El complejo playa-duna de Gatseau

El documento Natura 2000 en relación con las dunas y bosques de la isla de Oléron (Natura 2000, 2013) define con claridad que el ámbito costero está jalonado y protegido por importantes dunas masivas cuya tipología en su máximo desarrollo queda descrita en la figura 2a. Los gestores dedicados a la conservación del litoral de las regiones de las Landas y de la Charente-Maritime, como ocurre en otros lugares, establecen una clasificación en función de las especies fitoestabilizadoras. Siguiendo sus criterios, a continuación atenderemos la playa de Gatseau con un inventariado de especies características para cada ámbito dunar y que fue desarrollado a lo largo de la campaña del año 2006. Podemos establecer, desde la orilla marina hasta el interior del conjunto dunar, la siguiente secuenciación (figura 2):

- En primer lugar, el espacio propio de la **playa emergida o berma**. En los años ochenta y noventa, la playa de Gatseau aún alcanzaba a tener una anchura de algo más de una decena de metros de berma, quedaban las arenas expuestas en marea alta a excepción de los períodos de mareas vivas. Sin embargo, actualmente, la berma solo emerge en tiempos de bajada de marea y bajamar, tanto en el tramo sur como en el sector norte de la playa. Dicho de otra forma, con pleamar, el oleaje impacta directamente sobre las dunas formando acantilados de erosión con desmantelamiento por zapa. Respecto a la vegetación vista muy ocasionalmente, nos encontramos en el dominio de la *Cakile maritima*, que ahora se ve relegada a pequeños espacios protegidos donde no alcanzan las olas.

- A continuación, la **duna embrionaria**, masa arenosa con tendencia a la movilidad y a los cambios producidos por la acción eólica. Por su exposición y proximidad al mar, se ve afectada puntualmente por el oleaje derivado de los temporales más agresivos (*overwash*). Por lo general, conforma un escalón transversal a los vientos dominantes. No obstante, en Gatseau, a la par que en otras playas de Oléron, este espacio ha sufrido un recorte significativo. La vegetación observada lo componen especies como el *Elymus farctus*, *Agropyron junceiforme* y *Elytrigia juncea*.

- Posteriormente, se construyen las **dunas blancas** (*dunes blanches*) y los médanos adquieren mayor porte. En el caso de Gatseau alcanzaban de 10 a 15 m de altura en los años ochenta. Presentan movimiento todavía, aunque es un espacio que puede verse transgredido por el oleaje de mayor penetración, dejando cicatrices como surcos y depresiones erosivas con morfologías de *overwash*. Allí donde no se ha producido este fenómeno, encontramos *Ammophila arenaria* en la zonas más expuestas al viento, y *Euphorbia paralias*, *Eryngium maritimum* y *Calystegia soldanella* en aquellas zonas protegidas del viento o a sotavento. Por otro lado, en el tramo de transición entre las dunas móviles y las fijas (dunas semifijas), se suman a las ya vistas especies como *Festuca juncifolia*, *Galium arenarium*, *Medicago marina* y *Artemisia campestris* ssp. *maritima*.

- Por su parte, a las **dunas fijas** o también llamadas «**grises**», apenas llega aporte de arena, la flora aumenta en cobertura y variedad haciendo aparición especies como *Helichrysum stoechas*, *Dianthus gallicus*, *Koeleria glauca*, *Juncus acutus*, *Pancratium maritimum*, *Tuberaria guttata*, *Cistus salvifolius*, etc. En el pasado, las dunas grises de Gatseau fueron favorecidas por el hombre para ganar terreno al mar y que pudieran ser explotadas para distintas finalidades.

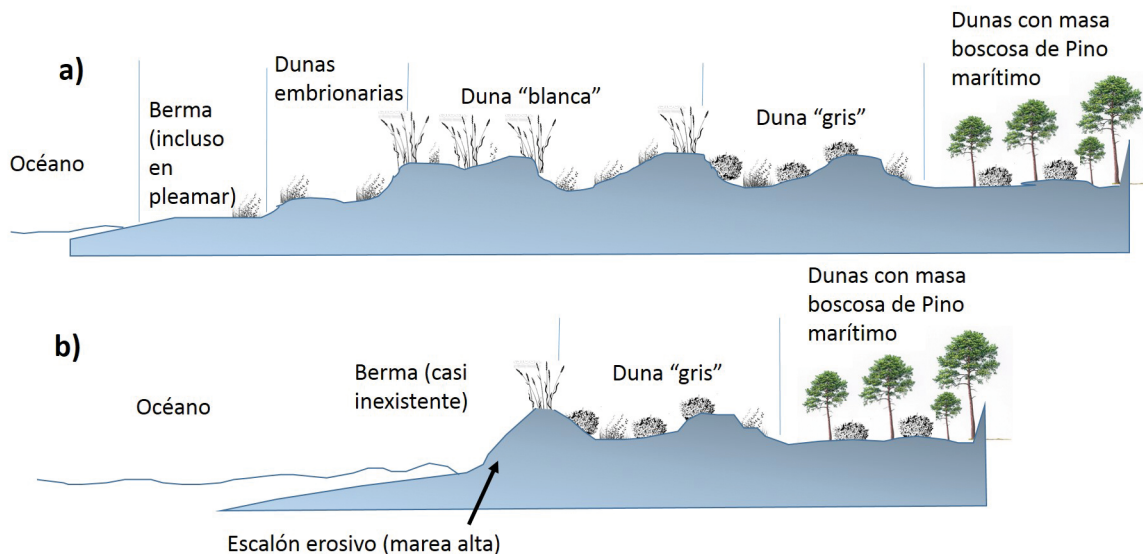


Figura 2.- (a) Tipología de dunas en su máximo desarrollo en la isla de Oléron y (b) erosión en transecto 2 de la playa de Gatseau con desaparición de la berma a marea alta.

Existen otras especies de singular valor y localizadas en el entorno inmediato de la Reserva Natural de Saint-Trojan y Gatseau (Especies inscritas en el anexo II de la Directiva 92/43/CEE y otras especies de Flora importantes de Natura 2000). Son menos comunes y se asocian al espacio de transición de dunas fijas-semifijas: *Omphalodes littoralis*, *Liparis loeselii*, *Anacamptis coriophora*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Asparagus maritimus*, *Cistus inflatus*, *Epipactis phyllanthos*, *Hornungia procumbens*, *Linaria arenaria*, *Linaria arenaria*, *Ononis reclinata*, *Pyrola chlorantha*, *Serapias parviflora*, *Spiranthes aestivalis*, *Dianthus gallicus* y *Silene uniflora* ssp. *Thorei*.

- Finalmente, alcanzamos las **dunas fitoestabilizadas por formaciones arbóreas**: la playa de Gatseau es un dominio favorecido totalmente por el hombre hace más de 180 años con la plantación planificada de *Pinus pinaster* (que ya existía) para la explotación resinera y para ganar terreno al mar. Sin embargo, y gracias a la protección y abrigo que ofrece esta masa boscosa, con el tiempo han ido colonizando las zonas clareadas del bosque otras especies arbóreas como *Quercus ilex* y *Quercus suber*.

4.3. Los «inputs» del sistema: procedencia de las arenas

Las arenas que arriban a la flecha-playa de Gatseau tienen procedencias múltiples. Si bien se han adelantado algunas que tienen su origen en las corrientes marítimas y fluviales, hay que sumar aquellas derivadas de la destrucción de los acantilados mesozoicos del norte de la isla, que de forma minoritaria alimentan de arenas calcáreas, gravas y cantos las playas oleronesas. Mientras, el resto de sedimentos ricos en cuarzo con tamaños medios de grano de 0,2-0,3 mm proceden del aporte de las corrientes que van pegadas a la margen continental. En definitiva, destacar cuatro enclaves fluviales externos a la isla de cierta importancia: al norte, el río de la Sèvre Niortaise y el río de La Charente, al oeste los materiales desalojados por el río de la Seudre y, al sur, aquellos evacuados por el estuario del Garona, uno de los ríos con mayor carga sedimentaria de Europa (Froidefond, 1977). De tal forma que los sedimentos transportados vía marítima, cuando alcanzan el estrechamiento que ejercen el continente y la parte sur

de la isla (Pertuis de Maumusson), hasta hace bien poco, solían acumularse en este sector. Este proceso contribuyó a una progradación durante más de un siglo, y cuanto menos, hasta bien entrado el siglo XX.

Entre los siglos XVII y XIX llegaron a la isla importantes volúmenes de arena que bajo la acción eólica penetraron hacia el interior de la misma. Este hecho puso en claro riesgo de ocultación poblaciones como la de Saint-Trojan, obligando a la toma de medidas urgentes. Así, por ejemplo, es conocido que ya en el siglo XV la localidad de Saint-Trojan tuvo que reubicar el pueblo por efecto de la invasión del campo dunar. Destacará entre las acciones tomadas la construcción de empalizadas y la plantación de pinos para fitoestabilizar el avance dunar. A su vez, podía recuperarse la actividad resinera que había desaparecido de la isla (Calonnec, 2006). En 4 fases consecutivas se fueron instalando estas infraestructuras y plantaciones: 1820, 1876, 1881 y la definitiva en 1948. En esta última, no solo se construyó una nueva empalizada, sino que hubo de recuperarse otras que se vieron seriamente afectadas por los bombardeos de la Guerra Mundial.

La fijación dunar (Calonnec, 2006) se basaba en la técnica del agente de aguas y bosques Vasselot de Régné (ver figura 3), por el cual, tras la construcción de la empalizada y tras su ocultación por la arena pasado el tiempo, se volvía a levantar otra empalizada por encima, y así, de forma consecutiva, hasta que la duna alcanzara cerca de 10 m de altura. Mientras se realizaba este proceso, se plantaban los pies de pino sitos al abrigo de las empalizadas.

1. Empalizadas
2. Berma
3. Plantación de Pinos
4. Arenales en acreción

Figura 3.- Sistema de empalizadas de Vasselot de Régné.

Todo ello supuso una ganancia de tierra al mar realmente espectacular, con valores cercanos al kilómetro en la anchura del conjunto playa-duna (Bourgueil y Moreau, 1972; Guinet, 2001; Arteaga, 2007). Tan importante fue el crecimiento dunar en aquel entonces, que era común entre los isleños el pensar que tarde o temprano conectaría la isla con el continente. En definitiva, Gatteau representaba hasta hace años un espacio de acumulación sedimentaria de gran importancia en la isla. Controlar o monitorizar lo que sucede en este conjunto arenoso ayuda a diagnosticar lo que sucede en la evolución sedimentaria de Oléron. Sin olvidar que la deposición arenosa en este *spit* adquiere actualmente una función protectora como barrera y refugio de varias parcelas de cultivos de ostras y mejillones que juegan un papel importante en la economía de los habitantes oleroneses.

164

4.4. Erosión: resultados del seguimiento y causas

Hasta el año 2005 se habían observado, con el apoyo cartográfico, de GPS y de diferentes imágenes satélite y aéreas, tres fases de erosión en la playa de Gatseau (Arteaga, 2007): a) 1959-1972, con un importante recule de la playa de unos 27 m/año, b) 1972-1999, con tasas de retroceso de unos 10 m/año, c) y, finalmente, 1999-2005 con retranqueos de 18 m/año.

Algunos investigadores mencionados anteriormente (Prat, 2004; Bertin *et al.*, 2008, etc.) han obtenido valores muy similares. Prat (2004), tras varios experimentos en campo, llegó a la conclusión que el volumen de arena que llega de la berma a las dunas se puede estimar entre unos 10-25 m³/m lineales/año, mientras lo que se pierde por oleaje y erosión es mucho mayor: 40-140 m³/m lineales/año. De tal forma que las alineaciones de barrón cultivadas en el cordón dunar en los años noventa para poner freno a la degradación desaparecieron totalmente a finales de dicha década. Incluso la ubicación de la estación del pequeño tren en los años setenta (PTST, 2015) se emplaza actualmente bajo las aguas atlánticas a 800 m al oeste del actual campo dunar (equivalente al transecto 2 de estudio). Bertín *et al.* (2004) determinaron que el transporte sedimentario al SE de la isla es extremadamente variable, estimando que la movilidad de las arenas oscila entre los 50 000 y los 170 000 m³ (de 3 a 10 veces inferior a lo visto por otros autores). Dicho transporte está condicionado por los oleajes más intensos, pero especialmente por la capacidad de las olas de impactar frontal o perpendicularmente a la playa.

A continuación se expone la actualización de los datos para el período 2006-2014, principal aporte de este trabajo, y en función del espacio que ocupan dunas embrionarias, dunas blancas y dunas grises ante el actual marco erosivo. Se descarta el seguimiento de la berma en Gatseau, pues apenas es visible y emerge solo en marea baja y algunos días en período estival con bajo coeficiente mareal (figuras 4 y 5):

Transecto 1.- Playa norte: segmento OSO-ENE de 194,12 m. Afectado mayoritariamente por un oleaje perpendicular o frontal. En el 2006, y tras las mediciones realizadas en campo, podemos decir que las dunas embrionarias cubrían en el transecto una extensión lineal de unos 11 m, las dunas blancas unos 33,30 m y las grises y fijas unos 149,82 m hasta su borde o frontera con el espacio forestal. Para el año 2014 se conforma la progresión de la erosión, visible incluso en Google Earth. Las dunas embrionarias ahora se emplazan allí donde estaban las dunas grises, desapareciendo totalmente el complejo de dunas blancas. Es decir, el mar ha consumido más de 136 m lineales. Las nuevas dunas embrionarias tienen una extensión de algo más de 22 m y se encuentran jalonadas y cortadas por efecto del *overwash* a consecuencia del fuerte oleaje de los temporales. La distancia ahora entre las dunas grises y el bosque es de apenas 51,9 m. Todo esto implica que la playa ha retrocedido en este transecto a una media de 17 m/año, manteniéndose muy próximo a los valores monitorizados para el período 1999-2006.

Transecto 2.- Estación de tren: segmento de 215,65 m escogido por la gran variedad de hitos a partir de los cuales se pueden tener referencias (cruces de caminos y vías, vallados, etc.). Corte oeste-este, que en el año 2006 tenía un pequeño cordón embrionario de unos 8,7 m que fosilizaba con sus arenas la antigua vía que llegaba a una parada hoy sita bajo el mar. El espacio ocupado por las dunas blancas que flanqueaban la vía en su margen derecha (o norte) tenía unos 39,3 m, y las dunas grises abarcaban unos 167,75 m lineales hasta su contacto con el primer frente del bosque. En el año 2014, la situación

no es menos dramática que en el caso anterior, con más de 157,78 m de retranqueo y erosión del frente playero. Una vez más, han desaparecido las dunas blancas pero todavía más espectacular es la total desaparición de las dunas grises, que han pasado a ser sustituidas por masas arenosas embrionarias que las cabalgan y tapan apoyadas por la acción eólica y del oleaje. En total, solo quedan algo más de 54 m lineales de médanos. Esto supone en este sector un retroceso lineal de 19,7 m.

Transecto 3.- Flecha o Puntal de Gatseau: perfil SW-NE de 153,39 m. En el año 2006, este corte aún conservaba todo el elenco de dunas descritas, pero ya entonces suponía una excepción en el tramo sur de la playa, muy afectada por la erosión y donde, por lo general, las dunas fitoestabilizadas por pinos estaban siendo transgredidas por el oleaje. Sorprende por otro lado que este sector ha sido el de mayor sedimentación y crecimiento desde el siglo XVII. El resultado de las mediciones en 2006 indicaba que las dunas embrionarias poseían un ancho de 32,64 m, las blancas de 34,44 m y las grises (con algunos rodales de pino) de 86,31 m. En 2014, solo quedaban 29 m del transecto. Es decir, de 153,39 m en 8 años habían desaparecido unos 124 m lineales de perfil, resultando una tasa de 15,54 m de erosión al año.

Seguimiento de los búnkeres: en el año 2006, a 32,34 m de la playa, en el interior del complejo dunar y bajo unos árboles, se localizó un búnker de la II Guerra Mundial. Pero en el año 2011 y a consecuencia de la erosión litoral, salieron a la luz otros 3. Tras la revisión del verano de 2015, se apreció que estos se hallaban sumergidos en la zona de surf de la playa. El oleaje los batía más allá de la pleamar y a más de 7 m del escarpe erosivo dunar (figura 5d y 5e). Dicho de otra forma, la primera de estas edificaciones mostraba un retroceso costero de 40 m en 9 años, véase un retranqueo de unos 4,4 m anuales.

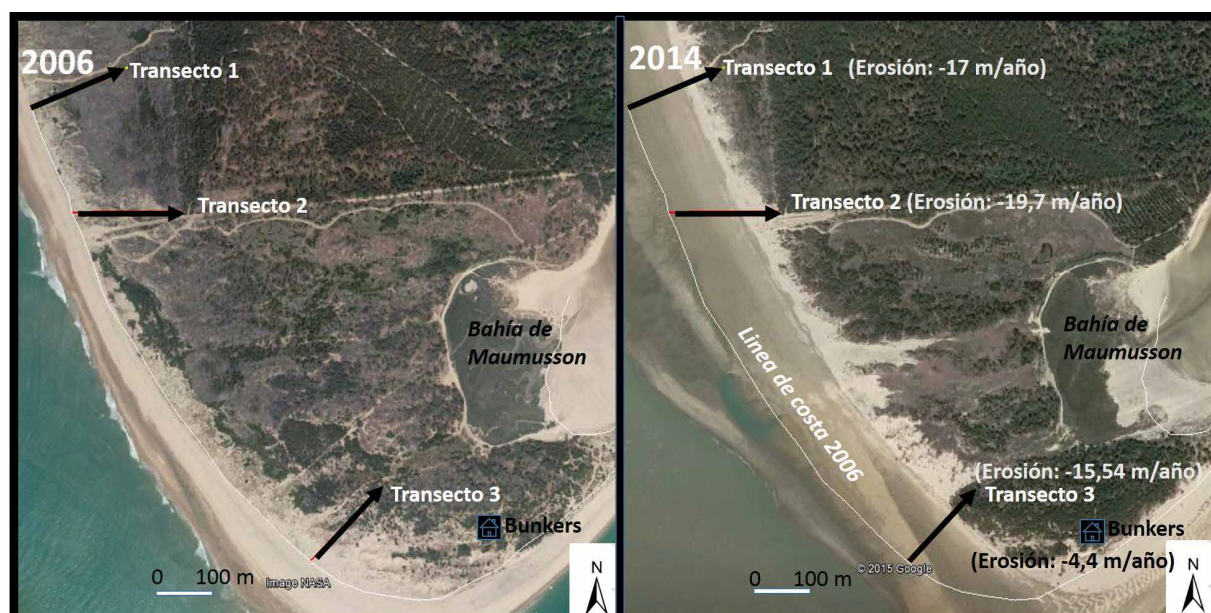
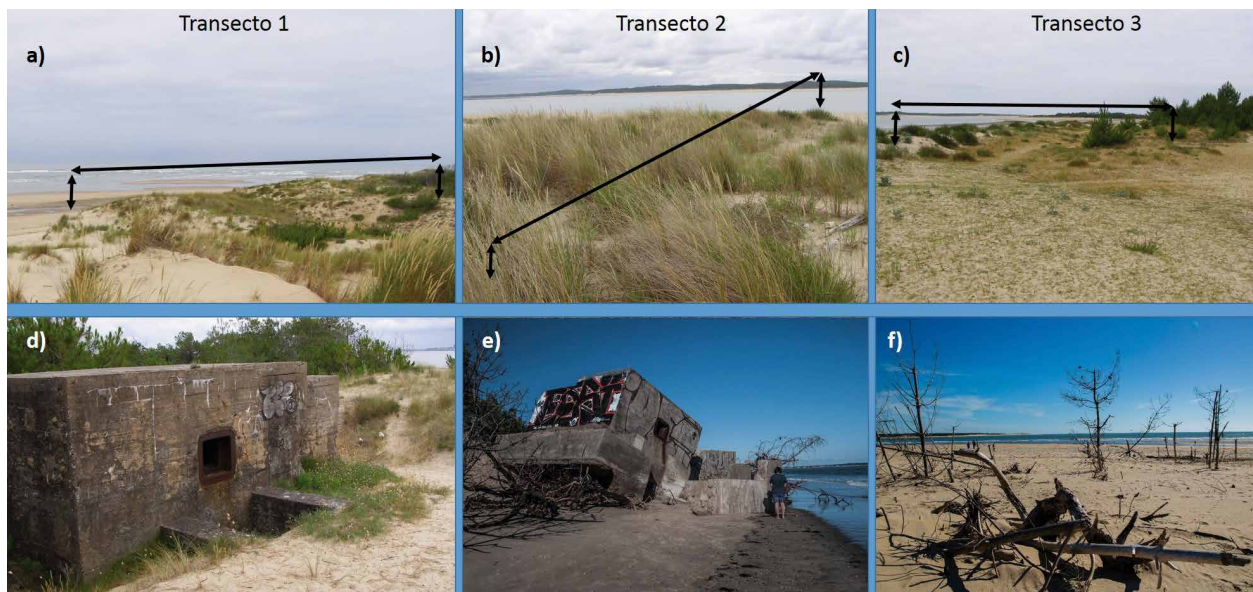


Figura 4.- Evolución de los transectos (elaboración a partir de imágenes Google Earth), erosión y retranqueo de la playa de Gatseau para el período 2006-2014.

Figura 5.- a, b y c) Fotografías de los transectos investigados entre las dunas embrionarias, dunas blancas y grises; d) Búnker



de la I Guerra Mundial cuando estaba a más de 30 m de la playa en el año 2006; e) El búnker anterior, que después de 9 años se encontraba afectado por la acción del oleaje; f) Cicatriz de overwash en el transecto 3, véase que el pinar se encuentra muerto por efectos de los embates del oleaje y el salitre. Este pinar se hallaba a más de 200 m del mar hace 10 años.

En España solo se han visto retrocesos comparables en el marco del Cantábrico en el *spit* de la playa de Liencres (Arteaga y González, 2005). En él se observó un retranqueo del puntal en su longitud de hasta 20 m/año, aunque no se apreció tanta erosión en el frontal de la playa, ya que el desmantelamiento de la flecha cedía sedimentos al resto del arenal.

El marco investigado ha perdido en los últimos 8 años una superficie superior a 20 hectáreas, si bien es habitual que las playas tiendan a erosionarse en un tramo y depositar en otro. Pero en Gatseau, hace más de 50 años que dejó de construirse de tal forma. En toda su longitud lo que encontramos es una pérdida. Debemos, pues, suponer que, por un lado, no llega el mismo volumen de arena que para el período 1820-1950 y, por otro, lo erosionado pasa a disposición de ámbitos externos al sistema. Esto nos lleva a evaluar, entonces, qué factores pueden estar contribuyendo a la merma de arena.

5. Factores potenciales de la erosión

La erosión de Oléron no solo es exclusiva de la playa de Gatseau, sino que es acuciante en todas las playas cuando azotan los temporales más violentos, que tienen un importante impacto por la planitud de la isla. En cuanto a la regresión, su evolución es continua en el tiempo y sin dar espacio a la recuperación de las playas y dunas, tal como sí hacía en un pasado relativamente reciente. Debemos atender a los nuevos elementos que se han incorporado y han podido producir algún efecto desde la segunda mitad del siglo pasado, momento en que se empieza a notar este fenómeno erosivo con mayor intensidad. Como ya se apuntó hace años (Arteaga, 2007), podemos realizar una división entre factores naturales y aquellos de origen antrópico:

5.1. Factores naturales

Si bien podemos acogernos a varios, destacaremos dos principales y de creciente actualidad. Por un lado, el incremento del nivel del mar, aunque se asocia por lo general a un efecto indirecto del denominado Cambio Climático. Atenderemos a la información que nos aportan las boyas y mareógrafos más próximos a la isla, analizados por el ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique; en AA. VV., 2014; AA. VV. - ONERC, 2015; Gouriou *et al.*, 2013). Estos se ubican en la bahía del Pertuis Charentais en la ciudad portuaria de Rochefort, y los resultados obtenidos confirman un paulatino ascenso del nivel del mar de 2,1 mm/año para el período 1944-2013, tras experimentar un incremento después de 1944, ya que las tasas eran de 0,4 mm/año para el período 1824-1909. Si atendemos a la Ley de Bruun (1962), criterio aplicado a ciertas playas a las que Gatseau se puede asemejar, por cada milímetro de ascenso del mar le puede suceder un retranqueo de 1 m. Bien es cierto que la aplicación de esta norma fue discutida por el mismo Bruun (1988), pero ante la falta de otras posibles variables y formulaciones que puedan ser aplicables a Oléron, la asumiremos aunque sea de forma temporal, y por obtener un valor mínimo de retroceso por ascenso de la lámina de agua. Con esta hipótesis, el retroceso lineal de la playa de Gatseau en los últimos 59 años sería de 145 m, muy inferior a lo visto (casi 1000 m), y no siempre consecuente con lo observado en otras playas próximas del continente (Arteaga, 2009).

El otro elemento a tener en cuenta es la erosión ejercida por un potencial incremento de temporales violentos, igualmente en el marco del denominado cambio climático. Se pueden destacar 3 en los últimos 16 años de carácter realmente extremo: el del 27 de diciembre del año 1999 (que incluso fue considerado inicialmente como fruto de un huracán); la ciclogénesis explosiva Xynthia del 27-29 de febrero de 2010; y el reciente temporal del 31 de enero al 2 de febrero de 2014. Todos ellos afectaron la costa atlántica francesa, inglesa y el Cantábrico español. Si atendemos a Prat (2004), algunos de estos eventos extremos llegan a recular la playa hasta valores próximos a 50 m de forma puntual. Solo Xynthia hizo desaparecer el 60 % del bosque de Saint-Trojan que se hallaba adosado a la playa de Gatseau, desapareciendo las antiguas empalizadas de fitoestabilización.

Hay conocimiento en la isla de otros eventos extremos históricos (AA. VV., 2013): uno a fecha del 29 de enero de 1645, del que tenemos muy poca información; otro, sucedido el 2 de febrero de 1702, destructor de todos los diques protectores del sector más meridional de la isla; la tempestad del 8 de enero de 1924, que sobreelevó el mar 1,66 m; el temporal del 22 de febrero de 1935, portador de vientos huracanados que sobrepasaron los 245 km/h, también denominado por los isleños «el Cataclismo»; y finalmente, el evento del 16 de noviembre de 1940, que sumergió el espacio más próximo al mar en la costa de Oléron. De 8 grandes temporales en los últimos 3 siglos, 3 se han manifestado en 15 años. No obstante, según la agencia de meteorología francesa (AA. VV., 2011: 17; Météofrance, 2015), en los últimos 30 años no se aprecia aumento relevante ni en el número de temporales con vientos superiores a 110 km/h, ni en la intensidad con la que se presentan: 15 para el decenio 1980-1990, 12 entre 1990-2000 y 14 para el decenio 2000-2010. Aun así, en las gráficas que presentan se observa que los temporales de viento de 1999 y 2010 han sido los más violentos de los últimos 30 años.

De todas formas, con esta historiografía eólica de la isla, no se debe atribuir a los eventos extremos ser la principal causa de la erosión continua. Hace dos siglos, en el período que discurría entre un temporal

y otro, las playas afectadas volvían a recuperarse. Todo ello no supone quitar el papel que tienen y que, sin lugar a dudas, la magnitud del oleaje que las acompaña son actores principales en este retroceso. Por último, señalar de este factor la particularidad de que son los meses de enero-febrero los más propensos a que se desencadenen estas fenomenologías tan agresivas, siempre de ingrato recuerdo para los habitantes de la isla. Además, Oléron es extremadamente sensible a estos temporales por la escasa altimetría que presenta su costa, ocupando el mar en dichos eventos y puntualmente miles de hectáreas en todo su perímetro y sumergiendo incluso espacios urbanos.

El siguiente factor, el oleaje, acompaña a lo visto para los temporales de viento. Los organismos oficiales en Francia y ocupados en investigar las variaciones de este agente litoral (AA. VV., 2011: 31) han concluido por el momento que no existen variaciones significativas respecto a épocas pasadas, pero reconocen que las series de datos que tienen desde 1973 están sesgadas y con lagunas importantes para confirmar nada. Si bien el papel de los factores naturales tiene su importancia, hay que asumir que aquellos derivados de las actividades humanas no lo son menos. A continuación se exponen los más factibles.

5.2. Factores antrópicos

Roland Paskoff (1998) alertó del papel que juegan las distintas infraestructuras litorales y de su relación directa e indirecta con los cambios geomorfológicos costeros. La isla de Oléron no está exenta de ellas, datando algunas desde tiempos bien antiguos.

En un primer grupo, señalaremos aquellos que se encuentran en la propia isla. Aparentemente, el puerto de La Cotinière, localizado a 13 km al norte de la playa de Gatseau, es la mayor infraestructura. Sus muelles escasamente se han modificado desde que se construyera en el siglo XIX, y la documentación histórica no menciona cambios o procesos erosivos relevantes a posteriori (aunque evidentemente tendría sus consecuencias). Incluso se da la circunstancia que el proceso de crecimiento de la playa de Gatseau tras el levantamiento de las empalizadas de fijación dunar es coetáneo a la construcción del fondeadero. La proliferación de diques junto a la existencia de otras obras han tenido responsabilidad directa en la interrupción de la circulación litoral y con ella de afecciones al sedimento transportado. Contiguo a nuestra zona de estudio, destacar un conjunto de estructuras que se irán implantando sucesivamente a partir de la segunda mitad del siglo pasado: diques transversales y de protección de taludes o escolleras, y la puesta en marcha y recuperación de trampas para peces —o *écluses à poissons*— de la Edad Media, articuladas por cerramientos de piedra.

En efecto, en el trabajo de campo se avistaron un número elevado de actuaciones en la orilla occidental de la isla que, casualmente, su finalidad era precisamente evitar la erosión costera en aquellas áreas próximas a las pequeñas localidades pesqueras, y aquellas urbanizaciones creadas incipientemente para el turismo. Un total de 38 diques perpendiculares a las playas de la costa oeste, de los cuales 8 son relativamente próximos a Gatseau, y 18 esclusas y trampas para la pesca. Todas ellas interfieren la corriente de transporte principal de sedimentos que recorre de una punta a otra la isla y con final en Gatseau. De hecho, como puede observarse en la figura 6, en el interior de las trampas es común ver barras arenosas capturadas por el sistema. Además, cerca de 3 km de escolleras de protección adosadas a la playa han roto la dinámica natural playa-duna, secuestrando así el ciclo del transporte sedimentario.

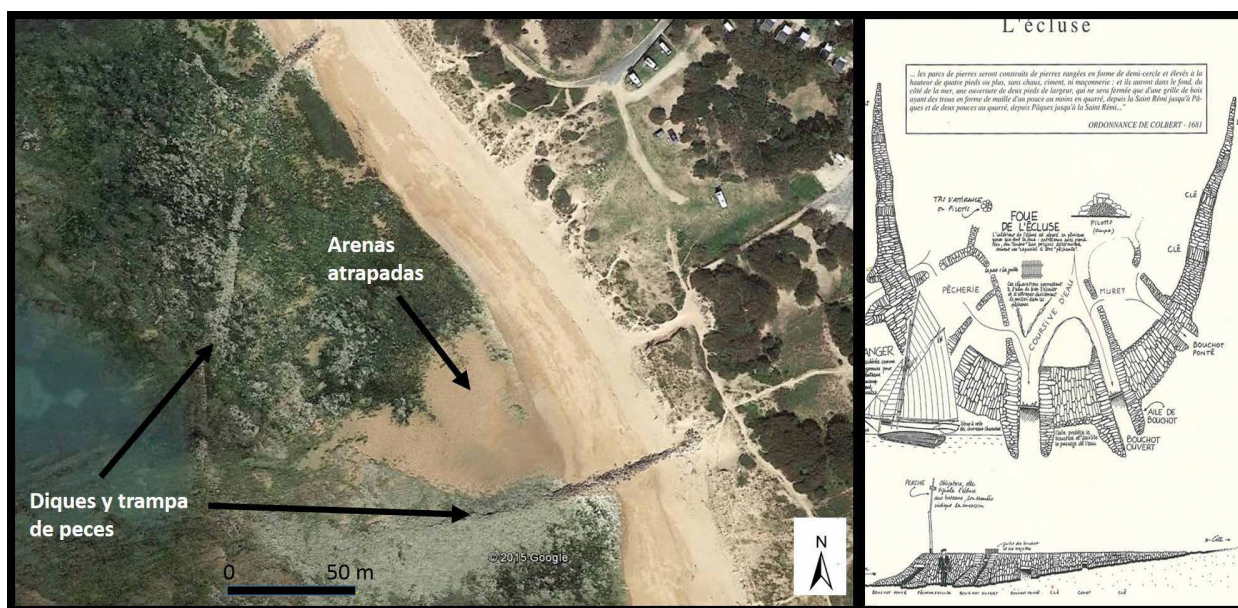


Figura 6.- Trampas mareales para captura de peces y viejo grabado con esquema de funcionamiento.

Un segundo grupo lo componen aquellas edificaciones potencialmente captoras de los materiales que llegan a la isla desde áreas efluentes alóctonas —los ya mencionados ríos de Sèvres, Charente, Seudre y Garona— así como la construcción de diques y escolleras en la costa continental. Aunque es difícil estimar el valor exacto de estas alteraciones, ya en los años setenta Froidefond (1977) afirmaba la directa relación e interferencia de los diques y los dragados en el estuario del río Garona (La Gironde), uno de los principales suministradores de sedimentos a la Bahía-Marennes-Oléron (Benaouda, 2008), con procesos erosivos y una consecuente disminución del volumen sedimentario transportado por el río.

En efecto, inicialmente, se ha calculado para el estuario del río Garona que algo más de 4000 toneladas de sedimentos arenosos y arcillosos (de 5 millones de toneladas que transporta el sistema fluvial en zona de estuario) son desalojadas e introducidas en el ámbito litoral y marino. Aunque se desconoce exactamente, un porcentaje muy elevado alcanza las playas de la isla de Oléron. Su principal amenaza posiblemente esté en los 336 km de escolleras y diques que impiden teóricamente la labor de zapa-erosión, transporte y ulterior sedimentación a lo largo de las márgenes del río, que supera los 500 km de longitud desde su nacimiento. Si le sumamos otros 500 km que revisten las costas de Aquitania, no podemos ignorar las posibles alteraciones que se pueden estar ocasionando. Por otro lado, edificaciones similares encontramos en la desembocadura de la Seudre, para la protección de las marismas ostrícolas de los ríos Charente y Sèvre Niortaise.

Una porción de estas defensas son realmente históricas, pues en la bahía la «polderización» del litoral lleva realizándose desde el siglo XII (D'Hollander, 1961). Pero son espacios en los que, a día de hoy, los eventos extremos de tormenta llegan a ser sumergidos por el mar con cierta facilidad, provocando así multitud de problemas, a los que, hasta la fecha, la única respuesta ha sido la reconstrucción e implantación de más escolleras.

Para terminar, 5 puertos de distinta envergadura jalonan la costa, desconociéndose la afección de estos en el balance sedimentario del sistema bahía-estuarios de Marennes, pero no por ello deben olvidarse las implicaciones que de estas infraestructuras se derivan.

6. Discusión y conclusiones:

El ejemplo de la isla de Oléron y, en especial, de la playa de Gatseau se nos muestra como un auténtico laboratorio «natural», con una larga historia de prácticas y actuaciones ante el ataque marino y con situaciones de respuesta del litoral bien contrastadas.

Hace casi dos siglos, los oleroneses no solo vencieron al retroceso que sufría el conjunto playa-duna de Gatseau, sino que se ganó terreno al mar en un margen temporal muy pequeño. El empleo de medidas que podríamos denominar «blandas» y de bajo impacto natural propició posteriormente un rico y nuevo territorio ecológico florístico y faunístico. De hecho, hasta entonces la playa y bosque de Gatseau era un claro ejemplo de buenas prácticas y actuaciones de fitoestabilización dunar. Muy similar a lo que se está realizando en otras partes del mundo, dando prioridad a medidas fuera del ámbito de la ingeniería más «aparatosas» y recurrente a obras donde la piedra toma un papel predominante. Así, se formará y ampliará lo que más tarde será reconocido como uno de los espacios protegidos más interesantes y reconocidos de la costa de la Charente-Maritime, con casi 2000 hectáreas.

Ese éxito parece cambiar a mediados del siglo pasado, momento en que, casualidad o no, confluyen el auge del turismo en la isla, gracias a la apertura del puente que la unirá a partir de entonces con el continente, y la consecuente proliferación de nuevas urbanizaciones pegadas a la costa para paliar las necesidades de sol-playa de estos nuevos habitantes estacionales.

La elección de la ubicación de las nuevas construcciones, al oeste y el centro costero de la isla, y en espacios tendentes a sufrir con mayor asiduidad los embates del oleaje por su mayor abertura y exposición al Atlántico, obligará a los gestores a proteger las viviendas tomando, quizás, una decisión de eficacia temporal, como es la construcción de diques y escolleras, pero de consecuencias dramáticas para los sectores más meridionales de Oléron, trasladando así el problema.

Si le añadimos las dificultades y problemáticas propias de una bahía fuertemente antropizada, el devenir no se antoja positivo. Más bien, y a tenor de lo ocurrido en los temporales de los últimos años, en especial el Xynthia, las soluciones que se plantean desde los distintos estamentos pasan por recurrir a la escollera y los diques nuevamente. Así lo establece el PAPI (Programmes d'Actions de Prévention des Inondations), el nuevo plan de protección litoral en el que participan distintas organizaciones e instituciones regionales y estatales y cuyo horizonte alcanza el 2030, con una inversión prevista para la isla cercana a los 20 millones de euros (PAPI, 2013).

Todo esto plantea cuestiones realmente inquietantes y que pueden extenderse a otras playas del mundo. Por un lado, que un sistema correctamente gestionado como la playa de Gatseau, y que hasta hace 50 años mantenía una sucesión de dunas que habían alcanzado un cierto equilibrio, no ha sido capaz de conservarse ni sostenerse ante el ataque de los agentes marinos, incluso con medidas de

apoyo adicionales (aumento de las plantaciones de barrón y construcción de nuevas empalizadas, sin éxito). Y por otro, y en conexión con lo primero, el hecho de que las playas dependientes de la llegada de sedimentos de origen alóctono presentan una extrema fragilidad dado que las acciones puntuales de conservación y recuperación, si no atienden también correctamente a otros factores que puedan darse entre el punto de origen del sedimento y la playa concreta, tienen una efectividad nula o mínima. Una vez más, hace falta una auténtica gestión litoral que incorpore no solo grandes espacios costeros que las investigaciones demuestren que estén relacionados entre sí, sino que también debe tener en cuenta a aquellos ríos responsables de los aportes de sedimento. Planificar en la costa debe integrar más allá de pueblos y pequeñas regiones. El mar transporta sedimentos, fauna y flora, y es no menos responsable del funcionamiento climático que la atmósfera. Y su cuidado debe empezar en las orillas, donde más presencia tiene el hombre.

Para terminar, un «futurible» que esperemos no se vea cumplido por las consecuencias que lleva inherentes. Posiblemente, el futuro de Gatteau quedó determinado en el tiempo en que se construyeron las infraestructuras para la demanda turística. Es previsible, de seguir a este ritmo, que la degradación de la playa prosiga y en muy pocos años se pierda la totalidad del puntal de la isla de Oléron (o de Maumusson), llevándose consigo una marisma de alto valor ecológico junto a parcelas dedicadas al cultivo de ostras, que hasta entonces quedaban al resguardo del oleaje. Esto supone un auténtico drama económico para los isleños, pues en menos de 24 años podrían desaparecer 72 hectáreas. No obstante, la morfología meridional de Oléron volvería a la forma original del siglo XVII. Las preguntas quedan para un tiempo no muy lejano que está por venir: ¿hasta cuándo y cuánto puede Oléron, con 11 km de ancho, resistir este acorralamiento erosivo?; ¿terminará con una armadura de diques y playas accesibles solo a marea baja?

Referencias

- AAVV. Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain. Rev. Études & documents. Commissariat Général au Développement Durable; 2011.
- AAVV. Révision du plan de prévention des risques naturels de l'île d'Oléron. (érosion côtière, submersion marine, incendies de forêt). Direction Départementale des Territoires et de la Mer de Charente-Maritime; 2013.
- AAVV. Le climat de la France au XXI^e siècle. Scénarios régionalisés. Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie. 2014;4:64.
- AAVV-ONERC. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique; Changement climatique et niveau de la mer de la planète aux côtes françaises. Ministère de l'Écologie du Développement Durable et de l'Énergie. 2015; 5:62.
- Arteaga C, González JA. Natural and human erosive factors in Liencres Beach's Spit and dunes (Cantabria, Spain). Journal of Coastal Research. 2005;4: 70-75.
- Arteaga Cardineau C. Aproximación a la erosión costera en la Isla de Olerón (Charente Maritime. Rev. Territoris. 2007;7: 115-133.
- Arteaga C. Nivel del mar, erosión costera y Cambio Climático. Europa y el Cambio Climático; 2009. pp. 151-168.
- Benaouda A. Dynamique saisonniere des sediments en suspension dans l'estuaire de la gironde: modelisation operationnelle de la reponse aux forcages hydrodynamiques. M.Sc. Thesis, Universidad de Bordeaux. 2008.
- Bertin X, Chaumillon E, Sottolichio A. Evolution d'une embouchure tidal en réponse au comblement de la baie associée: la baie de Marennes-Oléron et le Pertuis de Maumusson (Littoral Atlantique, France). Compiègne: Villèmes Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier; 2004.
- Bertin X, Castelle B, Chaumillon E, Butel R, Quique R. Longshore transport estimation and inter-annual variability at a high-energy dissipative beach: St. Trojan beach, SW Oléron Island, France. Continental Shelf Research; 2008.
- Billeaud I, Chaumillon E, Weber O. Evidence of a major environmental change recorded in a macrotidal bay (Marennes-Oleron Bay, France) by correlation between VHR seismic profiles and cores . Geo-Marine Letters. 2005;25: 1-10.
- Bourgueil B, Moreau P. Carte Géologique de La France a 1:50.000. Hoja 657. Ministère de L'Industrie et de la Recherche . Service Géologique National; 1972.
- Bruun P. Sea-level rise as a cause of shore erosion. Journal of the Waterways and Harbors division; 1962.

Bruun P. The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise: A Discussion on Large-Scale Two- and Three-Dimensional Usages; 1988.

Calonnec S. La forêt domaniale de Saint-Trojan. Univ. La Rochelle. CCIO-Communauté de communes de l'île d'Oléron. Available:

<http://www.cdc-oleron.com/haut3/presentation-de-la-cdc.html>

D'Hollander R. Le marais poitevin. Études rurales. 1961;3, 82.

Froidefond J. Informe desembocadura del Garona-60. Institut Geologie du Bassin d'Aquitaine; 1977.

Froidefond JM, Jegou AM, Hermida J, Lazure P, Castaing P. Variability of the Gironde turbid plume by remote sensing. Effects of climatic factors. Oceanologica acta. 1998; 21: 191-207.

Gouriau T, Martin-Miguez B, Wöppelmann G. Reconstruction of a two-century long sea level record for the Pertuis d'Antioche (France). Continental Shelf Research. 2013; 61-62:31-40.

Guinet. N. Evolution du statut des digues en Charente Maritime. Memoire Ecole Superieure des Geometres et Topo graphes. Le Mans; 2001.

IGN- Institut national de l'information géographique et forestière-INF. Inventaire forestier National.Dunes Atlantiques; 2013. pp. 2.

Infoclimat. Climatologie : Moyennes et records pour Chassiron, France. 2015. Available: <http://www.infoclimat.fr/climatologie-07314-pointe-de-chassiron.html>

Mériaux P, Yourment R, Wolff M. Dignes: état des lieux en France. Sécurité des digues fluviales et de navigation. Rev. Ingénieries; 2005. pp. 19.

Meteofrance. Impacts du changement climatique sur les phénomènes hydrométéorologiques. Changement climatique et tempêtes; 2015.

Migniot C, Lorin, J. Évolution du littoral de la côte des Landes et du Pays Basque au cours des dernières années. La Houille Blanche. 1979; 4-5: 267-279.

Musereau J, Regnauld H, Planchon O. Vulnérabilité aux tempêtes des dunes littorales: développement d'un modèle de prédiction du dommage à travers l'exemple de Saint-Trojan (Ile d'Oléron, France). Annales de l'Association Internationale de Climatologie. 2007; 4: 145-166.

NATURA 2000. Dunes et forêts de L'île d'Oléron. Direction régionale de l'Environnement Poitou-Charentes; 2013. pp. 114.

Omer C, Pajot B. Etude du panache sédimentaire à l'embouchure de la Gironde grâce aux images Spot. Edición digital. Groupe Espace et Environnement-Lycée G.Eiffel Bordeaux; 2000.

PAPI. Signature officielle de la convention de financement du Programme d'Actions de Prévention des Inondations de l'île d'Oléron; 2013. pp 9.

Paskoff R. Les littoraux. Impact des aménagements sur leur evolution. Paris: Armand Colin; 1998. pp. 264.

Petit-Maire N, Marchand J. (. The enhanced greenhouse effect and eventual sea-level rise: the example of the french mediterranean coast in the XXI Century. Study and Modelling of Saltwater Intrusion into Aquifers. Proceedings 12th Saltwater Intrusion Meeting, Barcelona; 1993. pp. 51-56.

Poulain C, Méjean C, Hascoët J, Michelin J. Une mobilité indirecte par l'érosion: le recul de la falaise du Pays de Caux (Seine-Maritime, Normandie, France). Bulletin Sciences et Géologie Normandes. 2011; 3: 35-48.

Prat MC. Erosion marine et évolution des dunes au sud de l'île d'Oléron. Atelier; 2004.

PTST. Web de Información del p'tit Train de Saint-Trojan. 2015. Avalaible: http://www.le-ptit-train.com/pertuis_de_maumusson.htm

Regnauld H, Pirazzoli PA, Morvan G, y Ruz M. Impacts of storms and evolution of the coastline in western France. Marine Geology. 2004;210: 325-337.

Estado de conservación de las dunas costeras de Canarias

Peña-Alonso, C., Hernández-Cordero, A.I., Hernández-Calvento, L.

1. Rasgos generales del litoral del archipiélago canario

El archipiélago canario está compuesto por siete islas y cuatro islotes de origen volcánico que se localizan en el sector oriental del Atlántico medio y, desde el punto de vista tectónico, en la placa africana. El conjunto insular tiene una extensión de unos 515 km de este a oeste. La distancia más cercana entre el continente africano y Canarias se da entre la isla de Fuerteventura y el cabo Juby (Sahára Occidental), que están a escasos 95 km. Se trata del archipiélago más extenso de la Macaronesia (7.447 km²) y abarca un 50,87 % del total de la región (Fernández-Palacios y Dias, 2001). La naturaleza insular determina que el perímetro costero de las islas (1.553 km, ISTAC, 2012) sea significativo con respecto a la superficie que ocupan. Atendiendo a la insularidad de Canarias, existen diferencias con respecto al resto del litoral español relacionadas con la geología y la geomorfología de carácter volcánico, la oceanografía, el clima, la biodiversidad y la historia de su ocupación humana.

La formación volcánica de las islas Canarias comprende desde el Mioceno hasta la actualidad, aunque cada isla tiene materiales con edades variadas (figura 1).

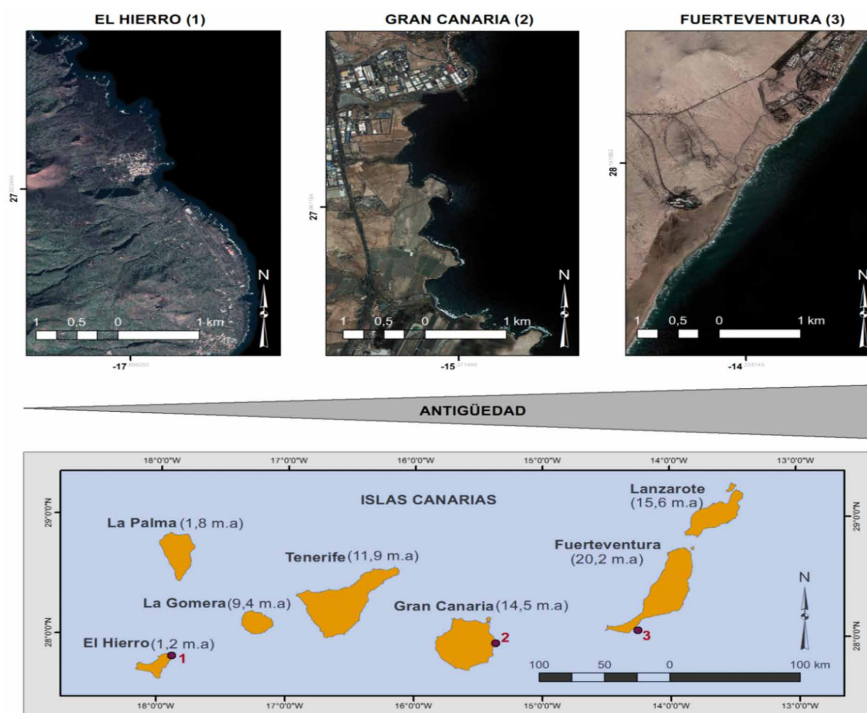


Figura 1: Antigüedad de las islas Canarias. La edad de cada isla, en millones de años (m. a.), corresponde al inicio de la fase subaérea de crecimiento en escudo (Carracedo *et al.*, 2008). Las imágenes superiores (GRAFCAN S.A., 2012) representan tramos costeros con diferentes grados de erosión pertenecientes a islas de menor a mayor antigüedad.

La isla más antigua es Fuerteventura (20,2 m. a.), con fases eruptivas subaéreas comprendidas entre el Mioceno inferior y el medio (hasta los 12 m. a.), mientras que las islas de La Palma (1,8 m. a.) y El Hierro (1,2 m. a.) son las más jóvenes del archipiélago, pues sus fases de crecimiento en escudo se produjeron durante el Plioceno y el Cuaternario, respectivamente (Hernán, 2001). Las erupciones submarinas que

formaron las islas están menos estudiadas, pero en Fuerteventura se han datado basaltos submarinos del Oligoceno (unos 33,4 m. a. Anguita *et al.*, 2002).

La edad de cada isla determina sus características morfológicas, observándose diferencias importantes entre las islas orientales y las occidentales (figura 1). Así, la costa de las islas occidentales, las más recientes en el contexto geológico del archipiélago, se caracteriza por ser muy accidentada. La presencia de salientes costeros y la escasa plataforma marina insular impiden la existencia de derivas litorales largas. Las playas que se forman suelen ser calas de pequeñas dimensiones (100-300 m de longitud), asociadas a la desembocadura de barrancos o al retroceso de los acantilados. Por lo general, están formadas por arena negra gruesa y cantos rodados o bolos de naturaleza basáltica (Gracia *et al.*, 2009). Por su parte, las islas orientales, al ser geológicamente más antiguas, han estado expuestas durante más tiempo a procesos erosivos y presentan líneas de costa más rectas y plataformas litorales y marinas de mayor extensión. Sobre estas plataformas existen importantes acumulaciones de granos de tamaño arena con un alto porcentaje de elementos de origen organógeno (Gracia *et al.*, 2009). En estas islas son características las playas de mayores dimensiones, rectilíneas y asociadas, en algunas ocasiones, a sistemas de dunas. Por otro lado, en Tenerife y Gran Canaria se aprecian geoformas litorales mixtas debido a la combinación de acantilados de diversa envergadura en las costas septentrionales y occidentales, y costas poco accidentadas en los tramos costeros del sur de estas islas, con playas de diversa longitud y sedimentología (Haroun, 2001).

Las particularidades de los sistemas de dunas litorales de Canarias no solo se deben a la naturaleza volcánica de las islas. También existen otros aspectos que condicionan su modelado y dinámica, como son las características climáticas, los factores oceanográficos (corrientes, mareas y oleaje), el relieve y los tipos de vegetación. En el archipiélago, estos sistemas son el resultado de procesos sucesivos de reactivación eólica a lo largo del tiempo geológico, desde el Mioceno hasta nuestros días. En la actualidad, no obstante, una particularidad común es que todos los sistemas eólicos de Canarias están experimentando una pérdida de arena por la reducción de los aportes, lo que favorece la estabilización de los campos de dunas móviles.

1.1. Particularidades de las dunas costeras (*foredune*) de Canarias

En algunos sectores de las costas canarias, especialmente en las islas orientales, destaca la formación de sistemas dunares asociados a diversas geoformas, como *fan-deltas*, en el caso de Maspalomas (Gran Canaria), tómbolos sedimentarios (Guanarteme) o plataformas mixtas, volcánico-sedimentarias (Corralejo, Jables de Lanzarote y La Graciosa). No obstante, la superficie ocupada por sistemas de dunas en Canarias es muy reducida. Esto se debe a que el 70 % (ISTAC, 2012) del perímetro de estas islas está representado por geoformas rocosas que albergan, en la mayor parte de los casos, estrechas playas asociadas a acantilados y a la desembocadura de barrancos. La escasez de plataformas insulares (zonas submareales y plataforma continental) es un factor limitador de la generación de sistemas sedimentarios eólicos extensos en el archipiélago (Hernández-Calvento *et al.*, 2009).

Los sistemas sedimentarios eólicos que se encuentran en Canarias presentan diferentes estados de actividad (figura 2), dependiendo de la cantidad de sedimentos disponibles, del grado de cobertura vegetal y de los usos del suelo que se han desarrollado en su entorno.

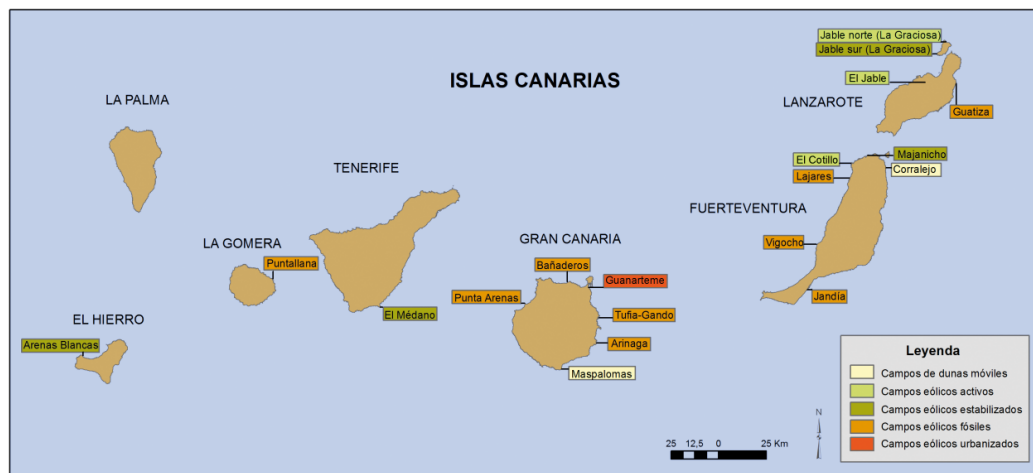


Figura 2: Principales sistemas sedimentarios eólicos de Canarias (actualizado de Hernández-Calvento *et al.*, 2009).

De este modo, podemos encontrar campos de dunas fósiles como los de Puntallana (La Gomera), Punta de Las Arenas, Bañaderos, Tufia-Gando y Arinaga (Gran Canaria), Lajares, Vigocho y Jandía (Fuerteventura) y Guatiza (Lanzarote), campos de dunas desaparecidos debido a la urbanización del espacio que ocupaban (Guanarteme, en Gran Canaria), o que están estabilizados (Arenas Blancas, en El Hierro; El Médano, en Tenerife; Majanicho, en Fuerteventura; los sistemas del islote de Lobos y el Jable sur, en La Graciosa). Finalmente, se encuentran los que están activos (el Jable norte, en La Graciosa; Famara, en Lanzarote, y El Cotillo, en Fuerteventura) y los que presentan sistemas de dunas móviles, como Maspalomas (Gran Canaria) y Corralejo (Fuerteventura).

A diferencia de lo que sucede en las regiones templadas y tropicales, los sistemas de dunas de Canarias, cuando se dan las condiciones sedimentarias adecuadas (abundancia de arenas), presentan unas tasas de movilidad bastante elevadas, cuestión que se relaciona con la escasez de precipitaciones, la periodicidad de vientos superiores a 5 m/s (considerada como velocidad umbral de movimiento del sedimento característico de estos sistemas, según Pérez-Chacón *et al.*, 2007, y Máyer *et al.*, 2012) y la escasez de especies vegetales con capacidad para colonizar las dunas costeras. De esta forma, se identifican algunas dunas que se desplazan más de 30 m al año (Pérez-Chacón *et al.*, 2007). Se trata, entonces, de sistemas transgresivos áridos, cuyos depósitos alcanzan, en ocasiones, sectores de la costa alejados de las fuentes de sedimentos, llegando a definir sistemas sedimentarios marino-eólicos, tal y como sucede en otras islas de mayor antigüedad, como Boa Vista, en el archipiélago de Cabo Verde (Hernández-Calvento y Suárez, 2006).

Las especies vegetales que favorecen la formación de dunas costeras también varían entre las zonas templadas y las áridas. Mientras que *Ammophila arenaria* (herbácea) es la responsable del fenómeno en las regiones templadas europeas, *Traganum moquinii* (arbustiva) lo es en Canarias y su entorno geográfico (Gracia *et al.*, 2009) (figura 3).

La diferencia en el sistema de reproducción (asexual vs. sexual) y la cobertura y el porte entre ambas especies da lugar a morfologías eólicas diferentes. Así, la duna costera formada a partir de *Ammophila arenaria* se caracteriza por ser un cordón continuo. Ello se debe a que esta herbácea tiene un sistema de reproducción asexual a partir de rizomas, suele alcanzar una altura homogénea y se dispone linealmente en paralelo a la costa.

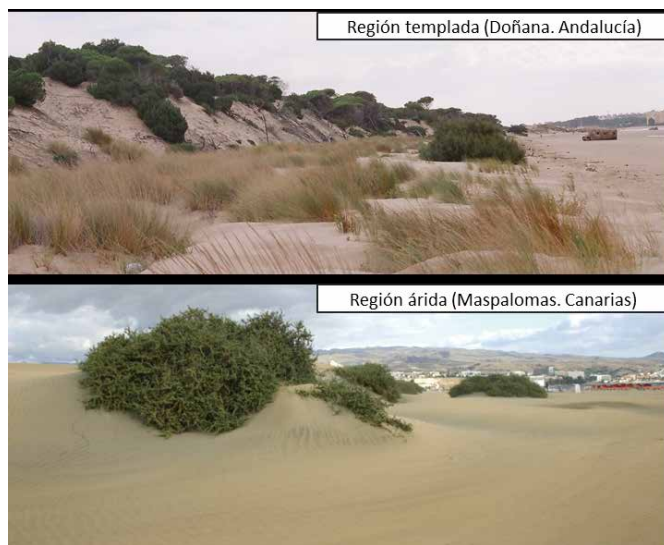


Figura 3: Diferencias geomorfológicas y colonización vegetal en dunas costeras de regiones templadas y áridas.

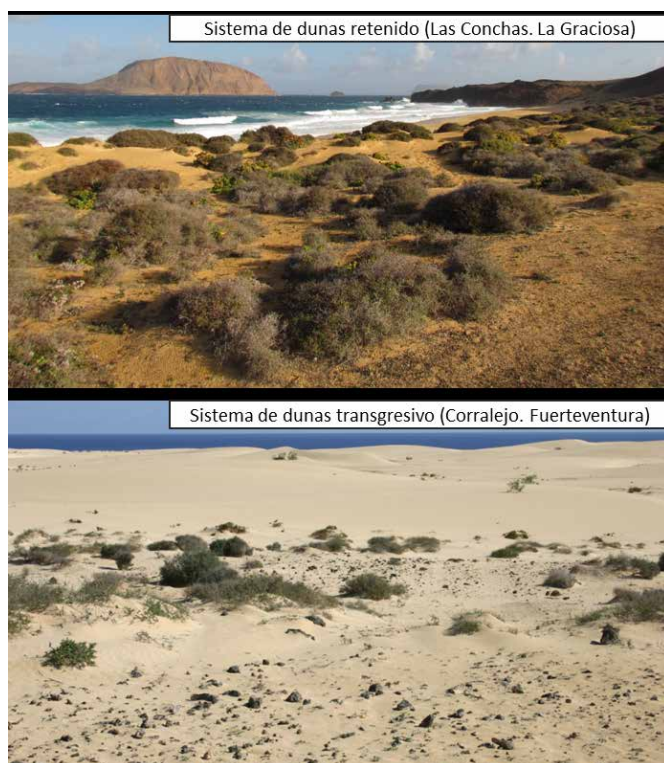


Figura 4: Ejemplo de sistemas de dunas retenidos y transgresivos en Canarias.

Por su parte, la duna costera formada por *Traganum moquinii* se caracteriza por crear un conjunto de dunas en montículo de altura variable (Hernández-Cordero *et al.*, 2012). Se trata, por tanto, de una duna costera fragmentada, con pasillos de deflación intercalados entre los montículos, lo que permite un mayor transporte de arena hacia el interior del sistema. En este último caso, la duna costera tiene una anchura variable, pues depende de la disposición de individuos vegetales arbustivos y de la entrada de arena al sistema (Hernández-Cordero *et al.*, 2015).

Desde el punto de vista morfodinámico, las dunas costeras de Canarias se encuentran asociadas a sistemas dunares que, dependiendo de sus características, pueden ser clasificados como «retenidos» o «transgresivos» (Rust e Illenberger, 1996) (figura 4). Los sistemas de dunas estabilizados o retenidos son aquellos en los que la acumulación de arena se genera por la presencia de vegetación. Esta hace de dosificador y retiene y libera sedimentos según la actividad eólica en cada época del año, siendo este el aspecto dominante sobre otros procesos. En este caso, se identifican geoformas tales como dunas en montículo (*hummock*), dunas de sombra (*shadow dunes*) y dunas remanentes (*remnant dunes*), en un ambiente ampliamente caracterizado por la presencia de un manto eólico de potencia variable en el que se identifican rizaduras (*ripples*) que indican cierta dinámica sedimentaria eólica superficial. Por otro lado, el proceso que estructura los sistemas de dunas transgresivos es la movilidad de la arena

causada por el viento. En el caso de Canarias, este tipo de sistemas se caracterizan por presentar una duna costera en montículo como primera geoforma generada por la interposición de ejemplares vegetales aislados en la dinámica sedimentaria eólica. Tras este frente se configura un campo de dunas libres, con escasa vegetación. Las geoformas más importantes son dunas barajananas, cordones barjanoides, láminas de arena, superficies de deflación y depresiones interdunares (*slacks*).

1.2. Problemática ambiental de los sistemas de dunas de Canarias

El sector turístico en Canarias se ha convertido en un motor económico fundamental, por lo que juega un importante papel en la toma de decisiones financieras y, por tanto, políticas y territoriales. Así, los grupos de poder que han controlado este sector desde la década de 1960 hasta la actualidad han tenido mucha influencia en las medidas de planificación y gestión del territorio, especialmente en las aplicadas en los sectores costeros más atractivos para los turistas y, a la vez, más frágiles, como son las playas y las dunas. No obstante, los impactos que han generado las actividades sobre el medio natural han sido evidentes (figura 5).



Figura 5: Ejemplos de impactos vinculados a la presión de uso. A: presión de visitantes frente a la duna costera de Maspalomas; B: ocupación del entorno por ejemplares de *Traganum moquinii* como elementos protectores frente al viento y el transporte eólico; C: cortaviento (*goros*) y pasillo antrópico afectando a un ejemplar de *Traganum moquinii* en la duna costera de Caleta de Famara; D: cortavientos (*goros*) en la playa de El Inglés (Maspalomas) realizados con cantos rodados procedentes de paleobarras; E: alteración de la entrada de arena por obstaculización de la urbanización Famara (Caleta de Famara); F: tránsito de vehículos sobre la playa; G: acciones de gestión en la playa de El Inglés (Maspalomas); H: alteración de la dinámica sedimentaria eólica por un kiosco en la playa alta de Corralejo.

Entre ellos destacan la desaparición del sistema de dunas de Guanarteme (Las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria) por el desarrollo urbano de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (Santana *et al.*, 2014); la alteración de la dinámica sedimentario eólica por urbanizaciones (Hernández-Calvento, 2006; Hernández-Calvento *et al.*, 2014), o la pérdida de comunidades vegetales por la alteración humana, como la reducción de las poblaciones de *Traganum moquinii* en Maspalomas (Hernández-Cordero *et al.*, 2012) o la ocupación de dunas móviles por equipamientos privados (centro comercial Anexo II en Maspalomas, Hernández-Cordero, 2012). Estos impactos, que suponen una alteración de las condiciones naturales originales de estos sistemas, en ocasiones son asumidos por parte de la población como necesarios para generar un beneficio económico, aunque desde otros sectores son fuertemente contestados.

En este sentido, ni siquiera las medidas de protección de los bienes naturales establecidas han permitido resolver el dilema existente en Canarias entre el desarrollo y la conservación, en un contexto de insularidad donde los recursos son limitados y el aprovechamiento de los mismos se realiza de forma intensiva aplicando escasos criterios de sostenibilidad.

2. El análisis de la vulnerabilidad de los sistemas de dunas de Canarias como sistemas socioecológicos

Los sistemas de dunas litorales deben su existencia a la presencia de arena y vegetación así como a la incidencia del viento y del oleaje. Pero también se encuentran influenciados por actividades humanas en su entorno, por lo que pueden ser definidos como *sistemas socioecológicos*, es decir, sistemas en los que el elemento biofísico y el elemento social (humano) se relacionan (Gallopín, 1991) y que pueden estar afectados por fuerzas externas relevantes para su dinámica (figura 6).

En estos sistemas socioecológicos, «los recursos» —en este caso, las dunas costeras (figura 6: A)— son utilizados por «los usuarios» (figura 6: B), si bien también los usuarios pueden actuar como «proveedores de infraestructuras públicas» (figura 6: C). Por su parte, la «infraestructura pública» (figura 6: D) se establece como un capital, de tipo físico o social, creado por los seres humanos: el capital físico se relaciona, entre otros, con las obras de ingeniería (diques, escolleras, puertos, etc.), y el capital social hace referencia a la regulación, la gestión y el uso de los sistemas socioecológicos.

En el contexto del sistema socioecológico (figura 6), la vulnerabilidad es la relación entre los factores de exposición a los que está sujeto el sistema, su susceptibilidad o características intrínsecas y su resiliencia (Cardona y Barbat, 2000; IPCC, 2007). La vulnerabilidad de las dunas costeras está relacionada con los factores de exposición externa, que pueden generar perturbaciones en su dinámica. Por un lado, perturbaciones de origen biofísico (figura 6: flecha 7), que afectan a las infraestructuras y a los sistemas playa y playa-duna. Se trata de perturbaciones de procedencia natural (climáticas, tectónicas, volcánicas, etc.) que pueden alterar las dinámicas marina y fluvial de estas franjas costeras, generando impactos que producen un aumento de la vulnerabilidad geomorfológica. Por otro lado,

perturbaciones de origen socioeconómico (figura 6: flecha 8), relacionadas con las modificaciones en los patrones demográficos, económicos o políticos y que afectan, fundamentalmente, a los usuarios de los recursos y a los proveedores de infraestructuras. En este caso, la modificación de estos elementos tendría consecuencias especialmente sobre la calidad (en términos recreativos y relacionados con la conservación) de estos espacios y, por lo tanto, sobre las medidas adoptadas para su gestión. Este aspecto también supone cambios en la gestión de los recursos naturales y en su dinámica.

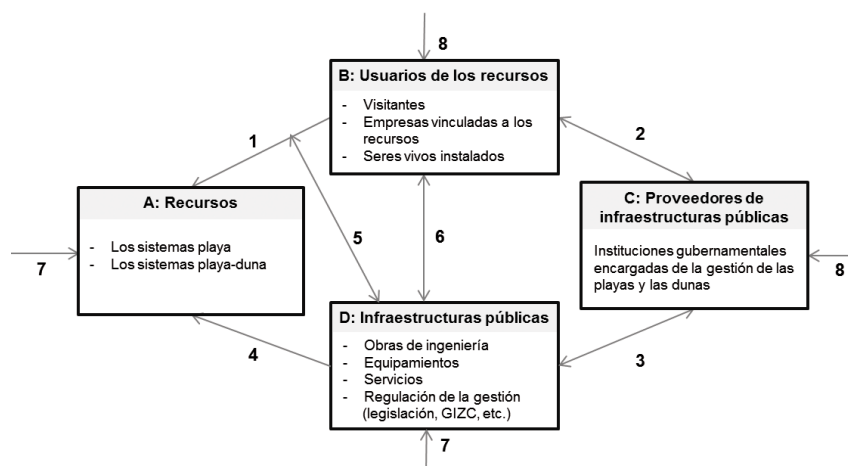


Figura 6: Esquema de los elementos de los sistemas playa-duna (y sus relaciones) como sistemas socioecológicos (adaptado de Anderies *et al.*, 2004).

Las perturbaciones, y también las relaciones que se dan dentro de este modelo, generan un estado en el sistema que indica su capacidad para mantener un funcionamiento adecuado. Las variaciones dependen del grado de susceptibilidad que tenga el recurso playa-duna (A) a nivel geomorfológico para hacer frente a las perturbaciones a las que se expone (figura 6: flechas 7 y 8). En este sentido, un sistema resiliente será aquel capaz de adaptarse a las perturbaciones, absorber los impactos y mantenerse. En este caso, la resiliencia se vincula al mantenimiento del recurso, es decir, de las estructuras básicas (geomorfológicas) de las dunas costeras.

En este contexto de análisis, se aprecia la necesidad de que todos los agentes implicados participen de manera activa en la planificación y la vigilancia de la gestión en las dunas costeras (Defeo *et al.*, 2009). En esta línea se han desarrollado numerosos trabajos dedicados a la elaboración de indicadores para la evaluación ambiental de los sistemas playa-duna (Williams *et al.*, 1993b; Klein *et al.*, 1998; García-Mora, 2000; Martínez *et al.*, 2006; Gracia *et al.*, 2009; Chousa *et al.*, 2014), con el objetivo de determinar su capacidad de respuesta a perturbaciones naturales o antrópicas. Estos trabajos tienen como precedente el realizado por Boderé y colaboradores en 1991, que desarrolla un índice de vulnerabilidad de los sistemas de dunas (Boderé *et al.*, 1991). Esta investigación se llevó a cabo utilizando un listado de indicadores que incluían aspectos geomorfológicos, biológicos, marinos, antrópicos y eólicos.

Tras este trabajo, los índices de vulnerabilidad de las dunas se han adaptado a las particularidades de sistemas dunares de diversas partes del mundo, como el este de Francia (Williams *et al.*, 1993a), el Reino Unido (Williams *et al.*, 1993b), el sureste de Portugal (Alveirinho-Dias *et al.*, 1994), el sur y sureste de España (García-Mora *et al.*, 2000; Chousa *et al.*, 2014) y el golfo de México (Martínez *et al.*, 2006).

Estas experiencias han mostrado la validez de estos listados de indicadores para identificar el origen de los impactos que sufren estos sistemas.

En España, el Gobierno nacional ha incentivado una serie de actuaciones basadas en estudios, recomendaciones y estrategias de gestión de estos espacios. Los trabajos llevados a cabo por García-Mora y colaboradores a principios de la década de los 2000 (García-Mora *et al.*, 2000; García-Mora *et al.*, 2001) sirvieron de referencia para definir la problemática de las dunas en España en el marco del *Manual de restauración de dunas costeras* (Ley *et al.*, 2007). El objetivo de este documento, encargado por el Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino (actual Ministerio de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente), era construir una base para el análisis de problemáticas, seguimiento y gestión de las dunas costeras en España.

Hasta este momento, los estudios sobre la vulnerabilidad de las dunas costeras en Canarias se han centrado en investigaciones realizadas por instituciones científicas (Hernández-Calvento, 2006; Alonso *et al.*, 2006; Medina *et al.*, 2007; Cabrera, 2010; Pérez-Chacón *et al.*, 2010; Hernández-Cordero, 2012) y gubernamentales (Gobierno de Canarias, 2004; Gobierno de Canarias, 2006a; Gobierno de Canarias, 2006b).

Tras estos estudios se ha constatado que el *Manual de restauración de dunas costeras* (Ley *et al.*, 2007) no es directamente aplicable a los sistemas sedimentarios eólicos de las islas Canarias, pues estos presentan importantes diferencias con los de la España peninsular y balear, marcados por sus condiciones geológicas (islas volcánicas de punto caliente intraplaca) y climáticas (Hernández-Calvento *et al.*, 2009).

Por lo que respecta a las primeras, las islas Canarias constituyen, cada una, edificios insulares individuales (salvo Lanzarote y Fuerteventura, que conforman un único edificio) que se elevan sobre la litosfera oceánica (Carracedo *et al.*, 2008). La despensa de sedimentos que abastece a estos sistemas está localizada en plataformas submarinas insulares someras o inexistentes. De esta forma, se da una mayor abundancia de sedimentos arenosos en las islas orientales, más antiguas y, por tanto, más erosionadas. Por lo que respecta a los condicionantes climáticos, en la península ibérica, y también en las islas Baleares, el clima es templado, al igual que en el resto de regiones donde se han aplicado estos índices con anterioridad, mientras que los sistemas de dunas en Canarias se localizan en climas áridos y semiáridos. Este factor afecta esencialmente a las características de la vegetación de estos sistemas y, por consiguiente, al transporte sedimentario eólico y a sus geoformas asociadas. La naturaleza insular también influye notablemente, pues en las islas Canarias, al igual que en las Baleares, no existen cursos fluviales continuos de importancia, como sí sucede en la península ibérica, de modo que la fuente y el tipo de sedimentos, así como su transporte, son diferentes. Partiendo de estas premisas, es evidente que muchas de las recomendaciones planteadas en el citado manual no son aplicables a las dunas costeras de Canarias.

Por todo ello, surge la necesidad de establecer un procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad que sea aplicable a sistemas áridos costeros arenosos y que permita también analizar los fenómenos a los que se encuentran expuestos y la intensidad con la que pueden verse afectados.

3. Adaptación metodológica y aplicación a Canarias

Teniendo en cuenta los trabajos previos en la materia, la vulnerabilidad se entiende como el estado de los sistemas costeros dada su sensibilidad ante el efecto de los agentes a los que se exponen.

La metodología llevada a cabo es una adaptación del método propuesto en el manual del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para la gestión de las dunas costeras en España (Ley *et al.*, 2007). De esta forma, se diseña el «índice de vulnerabilidad de dunas costeras de regiones áridas (IVDRA)», adaptado a la especificidad de los sistemas de dunas de Canarias. Con él se valora la capacidad actual de respuesta de los sistemas playa-duna ante los procesos que los modelan, así como el grado en que sus principales geoformas han variado desde las décadas de los cincuenta y sesenta del siglo pasado. La valoración de estos procesos permite conocer el comportamiento de los sistemas playa-duna en Canarias. Los subíndices considerados para la estimación de la vulnerabilidad son la exposición, la susceptibilidad y la resiliencia.

Entre estos subíndices, el relacionado con la susceptibilidad es el que define el grado de fragilidad interna de los sistemas para enfrentar una amenaza y/o recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un efecto adverso (ISDR, 2009). Se trata de un aspecto contrario a la resistencia al cambio de un sistema expuesto a agentes modeladores (Klein *et al.*, 1998). Extrapolada a los entornos costeros, esta definición hace referencia a los elementos de debilidad intrínsecos de un sistema (Füssel, 2007). En este caso, la «geomorfología-sedimentología» y las «características de la cubierta vegetal» (este último subíndice solo se considera en el «índice de vulnerabilidad de dunas costeras de regiones áridas, IVDRA») se han seleccionado como los componentes (subíndices secundarios) del subíndice principal.

Este trabajo analiza la susceptibilidad de las dunas costeras de Canarias en el marco del estudio de su vulnerabilidad, lo cual permite caracterizar sus elementos intrínsecos y contrastarlos en dunas litorales del archipiélago. Uno de los aspectos analizados es la vegetación existente en la primera franja costera, pues explica la formación de la duna primaria (derivada directamente desde la playa). El otro se refiere a las geoformas, que indican el grado de movilidad sedimentaria en la zona de la duna costera. Cuanto mayor sea el volumen sedimentario que entra en el sistema, mayor será la capacidad de este para absorber los impactos y, por lo tanto, más resistente será.

En el desarrollo del método original (Boderé *et al.*, 1991) se establecen como unidades de trabajo parcelas de 100 m². Para el caso de los sistemas de dunas en Canarias se ha considerado ampliar esta superficie a 200 m², cuestión que se justifica por la extensión superficial de la duna costera, que alcanza, en la mayoría de los casos, una distancia de unos 200 m hacia el interior del sistema con respecto a la línea de costa. En la delimitación de las parcelas se consideró, como criterio común, la dirección de los vientos dominantes en cada área de estudio, con la finalidad de que las parcelas tuvieran coherencia desde el punto de vista geomorfológico.

Las variables (tabla 1) son el resultado de la adecuación de la metodología de partida (Ley *et al.*, 2007) a las particularidades de las dunas costeras de Canarias, proceso en el que se han eliminado, modificado e introducido nuevas variables. La valoración específica de cada variable se realiza a partir de una escala de valoración comprendida entre 0 y 4, en que el 0 implica un valor bajo o nulo y el 4 representa el valor máximo de susceptibilidad.

Tabla 1. Variables para la evaluación de la susceptibilidad en las dunas costeras de Canarias.

SUSCEPTIBILITAT	Cubierta vegetal (CV)	% de plantas vigorosas en la primera línea de barlomar de la duna costera Cobertura vegetal máxima por estratos en la primera línea de dunas en montículo Cobertura vegetal máxima por estratos en la duna costera en montículo % de la superficie de la primera línea de barlomar de la duna costera con vegetación Cobertura media de los individuos vegetales Cobertura de vegetación en playa seca
	Geomorfología-sedimentología (GS)	% de la superficie de la parcela cubierta por depresiones interdunares húmedas Superficie relativa de la duna costera con escarpes o erosionada Cantidad de dunas en montículo en la parcela Altura media de la duna costera Granulometría de la ladera de barlomar de la duna costera (ϕ) % de la línea de playa seca ocupada por dunas embrionarias % de la superficie de playa seca con conchas % de la superficie de playa seca con gravas Granulometría del sedimento de la playa seca (ϕ) Anchura de la playa seca Número de barras arenosas o rocosas sumergidas o emergidas Anchura de la zona intermareal Estado modal de la playa % de la superficie de la zona de duna costera sin vegetación % de la superficie de la parcela ocupado por superficies de deflación Distancia máxima de los individuos vegetales de la primera línea de dunas en montículo

El valor de los subíndices (I_s) se calcula mediante la fracción entre el sumatorio de los valores asignados por variable (V_i) y el sumatorio de los máximos posibles obtenidos en cada subíndice ($V_{p_{máx}}$) (eq. 1). El resultado de los subíndices (CV y GS) se normaliza en valores entre 0 y 1 (donde 0 es igual a escasa susceptibilidad y 1 a máxima susceptibilidad).

$$I_s = V_i / V_{p_{máx}} \text{ (eq. 1)}$$

Tras ese ejercicio, la susceptibilidad (Sus) de cada parcela se evalúa como el promedio entre los resultados de CV y GS. El procedimiento de valoración de las variables se realiza a partir de trabajo de campo y laboratorio, así como mediante análisis espaciales llevados a cabo con sistemas de información geográfica (SIG).

4. La susceptibilidad de las dunas costeras en Canarias

Para la evaluación de la susceptibilidad se han seleccionado tres parcelas en Maspalomas (Gran Canaria), cuatro en Corralejo (Fuerteventura), cuatro en Caleta de Famara (Lanzarote) y una en Las Conchas (La Graciosa) (figura 2). Estos sistemas son representativos de las clases definidas por Rust e Illenberger (1996), siendo «retenidos» los de Caleta de Famara y Las Conchas, y «transgresivos» los de Maspalomas y Corralejo. Teniendo en cuenta estas características, se aborda en este trabajo el análisis de la duna costera, al ser un ámbito de interacción entre procesos marinos y terrestres que condicionan el estado de cada sistema de dunas. Las dinámicas y características geográficas, geomorfológicas y ecológicas de cada sistema son diferentes, por lo que los casos seleccionados son una muestra representativa de los tipos de dunas de las regiones áridas.

Además, estos sistemas presentan diferentes características ecoantrópicas relacionadas con el desarrollo de actividades vinculadas al turismo (tránsito de vehículos por la playa, construcción de los bordes de los sistemas de dunas, instalación de kioscos y hamacas, etc.). Estas actividades atraen a un gran número de usuarios en las dunas costeras analizadas, a excepción de Las Conchas (La Graciosa), una parcela donde se cumplen las medidas de protección establecidas y que, además, se encuentra alejada de núcleos urbanos. Con este procedimiento, se realiza una comparación de los procesos que condicionan la dinámica actual en las parcelas seleccionadas. Las características de las parcelas seleccionadas en las dunas costeras estudiadas son las que se detallan seguidamente.

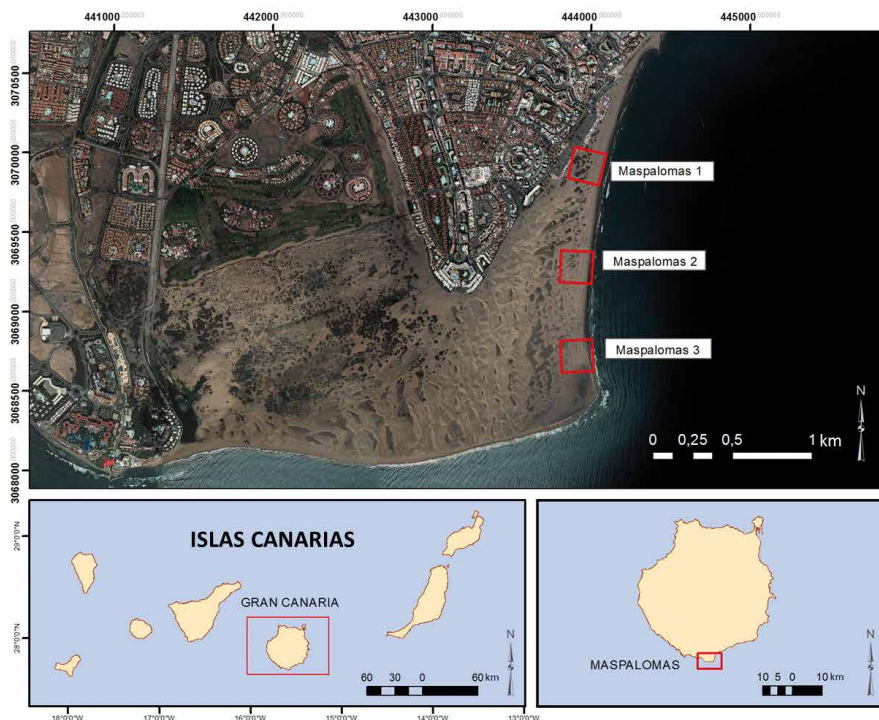


Figura 7: Vista general de Maspalomas y localización de las parcelas.

MASPALOMAS

Las parcelas se localizan al este del sistema, a lo largo de la playa de El Inglés, en la zona de entrada de sedimentos (figura 7).

La influencia antrópica de esta franja costera es alta, aunque se observa una gradación de su intensidad de norte a sur. La parcela ubicada al norte (Maspalomas 1) se encuentra rodeada de un entorno urbano consolidado. Existen muchos accesos directos desde la zona urbana, lo que la convierte en un área bastante transitada y con una gran disponibilidad de servicios (bares, restaurantes, cafeterías, heladerías, minimercados, tiendas de ropa o kioscos) y equipamientos (duchas y lavapiés, sombrillas o hamacas), que configuran la oferta recreativa. En la parcela Maspalomas 2, la urbanización se encuentra a unos 750 m. Esta distancia no impide que la zona esté ampliamente transitada, aunque la presencia de usuarios es inferior a la de la parcela Maspalomas 1 al no haber ni kioscos ni hamacas. La última parcela, Maspalomas 3, es la más alejada de las urbanizaciones turísticas. Sin embargo, en ella se localiza una zona nudista, por lo que suele haber bastantes usuarios, aunque en menor número de los que se encuentran en las parcelas 1 y 2.

La vegetación de la duna costera está formada por la especie arbustiva *Traganum moquinii*. En el norte (Maspalomas 1) se encuentra la vegetación con mayor porte y cobertura de las parcelas seleccionadas, que va disminuyendo progresivamente hacia el sur, a la vez que aumenta la distancia entre individuos vegetales. La vegetación ubicada en la parte sur de la duna costera se encuentra en condiciones de estrés debido a la fuerza con la que incide el viento en esta zona. El patrón vegetal observado condiciona la morfología de las dunas en montículo que componen esta duna costera y de las que se adentran en el sistema (Hernández-Calvento, 2006).

Por último, en relación con su dinámica natural, esta franja costera está orientada hacia el este-sureste, de modo que el viento dominante, procedente del noreste, entra de manera perpendicular al sistema. Hay evidencias de un cierto déficit sedimentario, pues existen áreas de deflación a sotavento de la duna costera, siguiendo la dirección de los vientos dominantes (Hernández-Calvento *et al.*, 2007; Díaz-Guelmes y Hernández-Calvento, 2004). En la zona sur (Maspalomas 3), la duna costera se encuentra fragmentada. Las dunas en montículo que la forman tienen dimensiones reducidas y, en su parte de sotavento, se identifican amplias superficies de deflación (Hernández-Calvento, 2006; Díaz-Guelmes y Hernández-Calvento, 2004; Hernández-Cordero *et al.*, 2012).

CORRALEJO

Al igual que en Maspalomas, la duna costera de Corralejo se localiza al este del sistema (figura 8) y presenta características diferentes de norte a sur.

Las parcelas seleccionadas están expuestas a una presión constante de usuarios. Tras la franja de duna costera discurre uno de los ejes viarios principales de la isla de Fuerteventura (FV-1), en cuyo borde es posible aparcar para acceder al mar. El acceso a la playa no está definido con pasarelas o caminos marcados, por lo que se puede acceder libremente por toda la zona, con una presión de usuarios constante. Sin embargo, son solo las parcelas centrales (Corralejo 2 y 3) las que están influenciadas directamente por diversos equipamientos (kioscos de playa, hamacas, sombrillas, etc.) y edificaciones hoteleras. La parcela Corralejo 2 se localiza al norte del hotel Riu Tres Islas, y la parcela Corralejo 3 al sur del hotel Riu Oliva Beach.

En ellas el tránsito de usuarios es aun mayor. En la parcela localizada al sur (Corralejo 4) no existe ningún tipo de equipamiento, pero la actividad humana se hace notar con la presencia de estructuras cortavientos elaboradas por los usuarios (goros), localizadas en la playa alta y en muchos casos adosadas a ejemplares de *Traganum moquinii*. En cuanto a la cobertura vegetal, es común a lo largo de toda la franja costera que los primeros individuos vegetales que obstaculizan la entrada de arena desde el mar sean de la especie *Traganum moquinii*. Esta especie convive con otras que son variables entre las parcelas, como *Euphorbia paralias*, *Ononis hesperia* y *Launaea arborescens*, habituales en áreas donde se dan proceso eólicos activos (Fernández-Cabrera *et al.*, 2011). En las parcelas centrales, la presencia de especies herbáceas es mayor; en este entorno, donde se localizan los hoteles, esto indica una mayor estabilización de sistema, cuestión que les facilita su germinación y supervivencia, especialmente en la zona interna de las parcelas, más alejada del mar. En la parcela ubicada al sur únicamente se observa *Traganum moquinii*, lo que denota un mayor transporte de sedimentos que impide el desarrollo de las herbáceas.

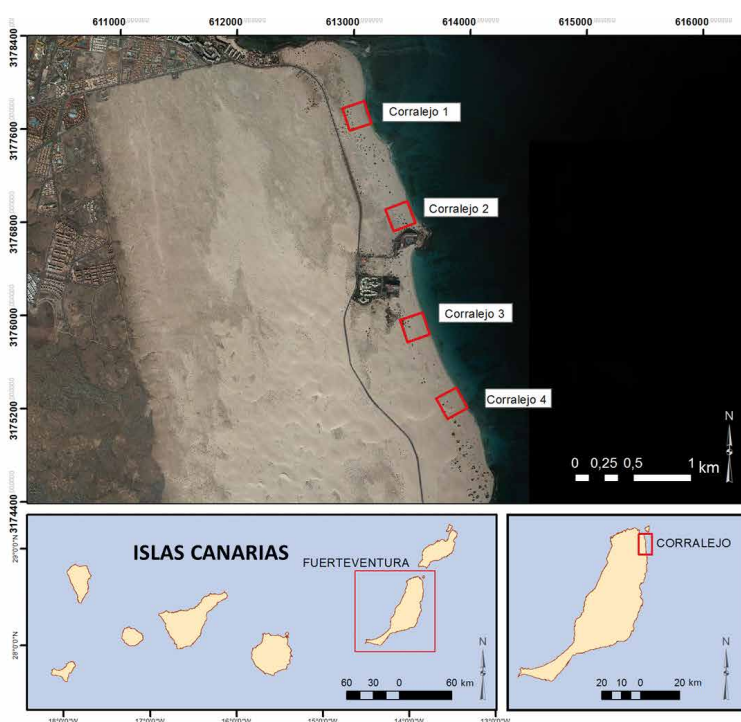


Figura 8: Vista general de Corralejo y localización de las parcelas.

Por lo que respecta al viento, se caracteriza por tener una fuerte componente de N-NO (Malvárez *et al.*, 2013), aspecto que condiciona las geoformas que aparecen a lo largo de la duna costera. En las dos primeras parcelas de análisis no se han identificado geoformas características de procesos deficitarios, como superficies de deflación. Sin embargo, al norte de la parcela Corralejo 3 se encuentra una zona hotelera cuyos edificios podrían estar actuando como obstáculo para el transporte libre de sedimentos. En esta parcela no se observan superficies de deflación, pero sí se han encontrado afloramientos de depósitos de rocas sedimentarias pleistocenas en la zona intermareal (García, 2013), lo que podría estar indicando que la parcela tiene un balance sedimentario negativo (Alonso *et al.*, 2006). Al sur, en la parcela Corralejo 4, se detectan paleosuelos (García, 2013) que también indican un balance sedimentario negativo, hecho que se confirma con la aparición reciente, en la orilla de la playa, de una plataforma litoral labrada en materiales volcánicos y sedimentarios correspondientes al Pleistoceno medio y superior y al Holoceno.

Esta parcela se localiza en un área mixta, pues se produce la entrada de sedimentos por la playa, pero también la salida al mar de arena procedente del norte del sistema (Malvárez *et al.*, 2013).

CALETA DE FAMARA

Este sistema se corresponde con la zona de mayor disponibilidad de sedimento y de mayor tasa de transporte efectivo del denominado Jable de Lanzarote. Se trata del área de entrada de sedimentos de origen marino al sistema (Cabrera, 2010). Las parcelas seleccionadas en esta duna costera se distribuyen de oeste a este (figura 9).

La ocupación antrópica de esta franja costera está vinculada a la existencia del núcleo urbano de Caleta de Famara, al oeste, y la urbanización Los Noruegos, al este. Entre ambos espacios discurren dos vías importantes: la LZ-402, con disposición N-S, conecta el núcleo de Caleta de Famara con el sur de Lanzarote; la segunda, de disposición transversal a la primera (E-O), atraviesa por la mitad la parcela, uniendo el núcleo poblacional de Caleta de Famara con Los Noruegos. Los bordes de esta segunda vía se utilizan como áreas de aparcamiento de vehículos a partir de las cuales los usuarios acceden a la playa. A pesar de ser una zona muy frecuentada, no hay equipamientos playeros, tales como hamacas y sombrillas. No obstante, se observa la construcción, por parte de los usuarios, de goros cortavientos a lo largo de la primera línea de vegetación. La construcción de estas estructuras se ve favorecida por la disponibilidad de cantos rodados en la playa. La parcela localizada más hacia el este (Caleta de Famara 4) es la menos afectada por las alteraciones antrópicas, al no haber carreteras ni urbanizaciones en su entorno inmediato, aunque es posible acceder a pie desde la urbanización turística Los Noruegos, 100 m al oeste.

Por lo que respecta a su vegetación, las parcelas situadas al oeste (Caleta de Famara 1 y 2) se caracterizan, principalmente, por la presencia de ejemplares de *Traganum moquinii* y *Launaea arborescens*, que forman la duna costera (Cabrera, 2010).

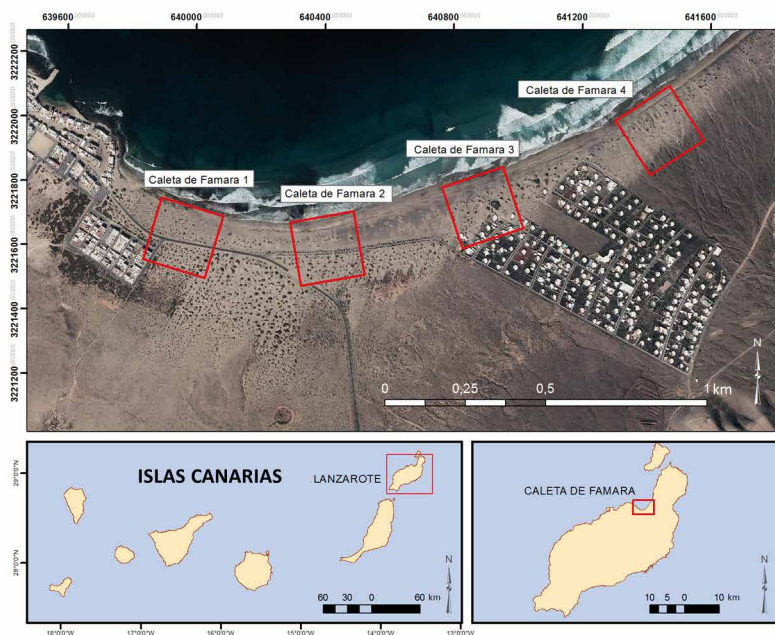


Figura 9: Vista general de Caleta de Famara y localización de las parcelas.

El sustrato es arenoso en todas las parcelas, a excepción de la zona más cercana al mar, donde afloran cantos rodados. En la parcela Caleta de Famara 4 se ha observado un mayor porcentaje de sedimentos coluviales procedentes de los Riscos de Famara (Cabrera, 2010), y en las zonas intermareales aparecen indistintamente arenas y cantos rodados, cuya proporción varía dependiendo de la época del año. La altura de las dunas en montículo puede alcanzar los dos metros, aunque se observan variaciones entre las parcelas seleccionadas.

LAS CONCHAS

En el sistema de dunas asociado a la playa de Las Conchas se ha ubicado una única parcela, debido a la escasa extensión de este frente costero (figura 10). Se trata de una zona muy poco antropizada, alejada de los dos núcleos de población de La Graciosa.

En la parcela no existen equipamientos de ningún tipo y solo se puede acceder a ella a pie, en bicicleta o mediante taxis que circulan por la isla. La normativa del espacio protegido (Gobierno de Canarias, 2006a) prohíbe a los automóviles transitar por la playa, y el acceso se encuentra cortado a unos 200 m de la misma. Por todo ello, en la playa en general, y en la parcela en particular, no suele haber gran afluencia de personas, salvo en la época estival.

En cuanto a la vegetación, en la parcela se encuentran comunidades de herbáceas formadas por *Cakile maritima*, *Lotus lancerottensis* y *Euphorbia paralias*, así como subarbusivas de *Astydamia latifolia*. Los individuos de estas comunidades dan lugar a pequeñas dunas en montículo que llegan hasta la falda del volcán contiguo, Montaña Bermeja. También es destacable la presencia de algunos ejemplares de *Traganum moquinii* (Pérez-Chacón *et al.*, 2010) que, con una cobertura bastante extensa, se localizan en el frente costero de la parcela.

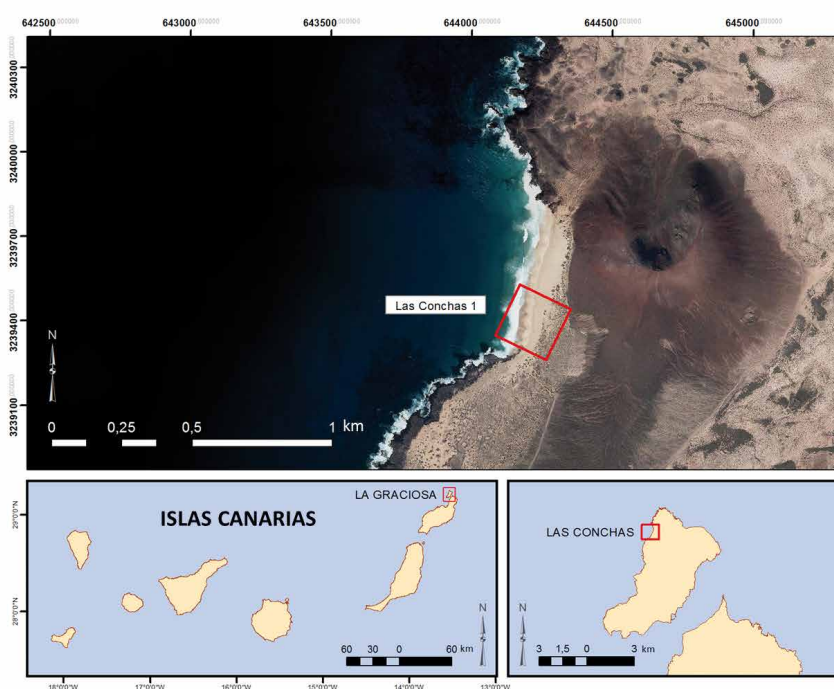


Figura 10: Vista general de Las Conchas y localización de la parcela.

Desde el punto de vista geomorfológico, destaca la presencia del edificio volcánico de Montaña Bermeja, que supone un obstáculo para el transporte sedimentario hacia el oeste. En algunas partes favorece la acumulación de sedimentos y en otras contribuye a canalizar el flujo eólico procedente del norte, facilitando con ello la creación de un pasillo N-S en el que se desarrolla este sistema sedimentario eólico. En la zona supramareal de la parcela aparece un nivel de un metro de paleosuelo rojizo arenoso-limoso, con conchas de moluscos marinos, gasterópodos terrestres, icnitas de himenópteros y lapillis negros y rojizos. Sobre este paleosuelo se encuentra la duna costera, que no es fácilmente delimitable ya que la vegetación se distribuye homogéneamente hacia el interior de la parcela de observación. Se aprecian dunas en montículo de diversa envergadura. En la actualidad, no se dan unas entradas al sistema lo suficientemente importantes como para mantener un campo de dunas móviles (Pérez-Chacón *et al.*, 2010), pero tampoco hay signos de erosión, por lo que puede considerarse que se trata de un sistema en equilibrio dinámico.

5. Diagnóstico general de la susceptibilidad de dunas costeras en Canarias

Los sistemas de dunas seleccionados tienen unas características geomorfológicas y vegetales que, aun presentando diferencias entre las parcelas, mantienen un estado de susceptibilidad moderado. Las parcelas con valores de susceptibilidad extremos se ubican en la duna costera de Maspalomas. Así, la parcela con menor susceptibilidad es Maspalomas 1, mientras que en Maspalomas 3 se registra la mayor susceptibilidad.



Figura 11: Geoformas relevantes en las dunas costeras analizadas. GS-A: superficie de cantos en la playa seca de Caleta de Famara; GS-B: dunas embrionarias en la duna costera de Las Conchas; GS-C: superficie con escasa cobertura de arena al sur de playa de El Inglés (Maspalomas).

Las variables de «geomorfología-sedimentología» presentan resultados parecidos entre parcelas, a excepción de las relacionadas con la cantidad de dunas en montículo, la altura media de la duna costera, el porcentaje de la playa con conchas y gravas y la distancia máxima de los individuos vegetales en la primera línea de dunas en montículo. Estas variables identifican, por tanto, los elementos geomorfológicos-sedimentológicos diferenciadores entre dunas costeras. Con valores indicativos de un alto grado de susceptibilidad destacan las variables relacionadas con la granulometría (ϕ) de la ladera de barlovento de la duna costera y de la playa seca, la presencia de dunas embrionarias y de barras arenosas o

rocosas sumergidas o emergidas, y la proporción de duna costera sin vegetación. Los resultados que implican escasa susceptibilidad se relacionan con la presencia de depresiones interdunares húmedas, la inexistencia de escarpes de erosión en la duna costera, la anchura de la playa, los estados modales disipativos y la escasez de superficies de deflación.

La «cubierta vegetal» se analiza en tres zonas dentro de cada parcela: playa seca, primera línea de dunas en montículos y zona de duna costera. En la playa seca, los resultados revelan que no existe vegetación en ninguna de las parcelas analizadas.

En la primera línea de dunas en montículo, el estado de vigorosidad de la vegetación genera susceptibilidad en las parcelas Maspalomas 3, donde la duna costera se encuentra fragmentada y la vegetación es escasa, y Caleta de Famara 2, alterada por la presencia de goros cortavientos construidos por los usuarios y por la desecación de las ramas expuestas al viento incidente. La cobertura vegetal máxima por estratos de altura y el porcentaje de la superficie de la primera línea de barlomar de la duna costera con vegetación son variables que determinan una escasa susceptibilidad generalizada en las parcelas.

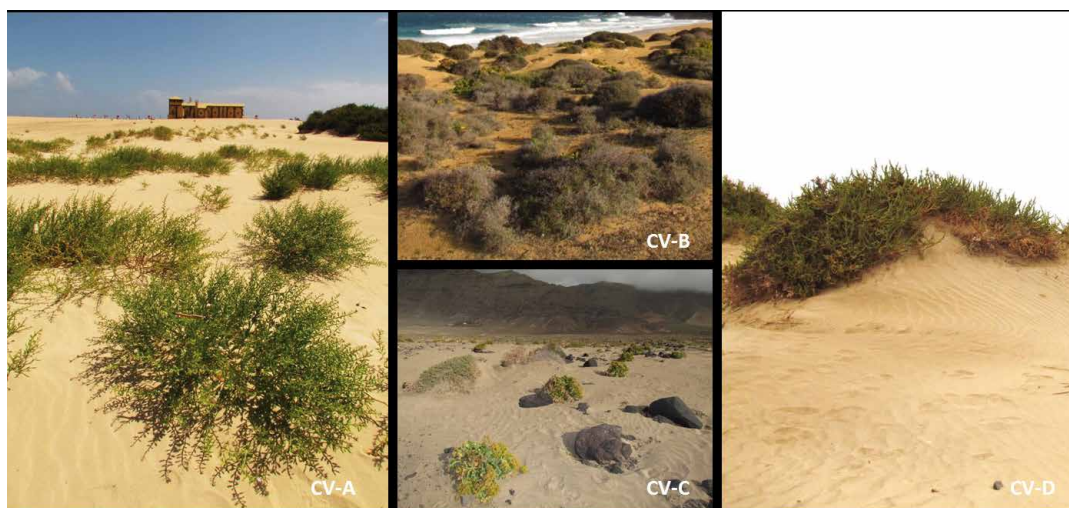


Figura 12: Vegetación en las dunas costeras analizadas. CV-A: dunas embrionarias asociadas a *Cakile maritima* y, al fondo, duna costera con *Traganum moquinii* (Corralejo); CV-B: ejemplares de *Launaea arborescens* (Las Conchas); CV-C: dunas en montículo de escasa altura formadas por ejemplares de *Astydamia latifolia* y *Salsola vermiculata* (Caleta de Famara); CV-D: duna en montículo de altura moderada formada a partir de un ejemplar de *Traganum moquinii* (Caleta de Famara).

Los valores del resto de variables hacen referencia a la vegetación de toda la parcela. La variable relacionada con la cobertura vegetal máxima por estrato en las dunas costeras en montículo solo genera susceptibilidad en las parcelas Corralejo 2 y Las Conchas 1, debido a la presencia generalizada de herbáceas. La variable relacionada con la cobertura media de los individuos vegetales de la parcela revela que la susceptibilidad es relevante en las parcelas analizadas, a excepción de Maspalomas 1, donde se localizan los ejemplares con mayor cobertura entre las parcelas seleccionadas.

Como conclusión final del diagnóstico basado en la susceptibilidad de las dunas costeras analizadas, se observa que entre las parcelas ubicadas dentro de cada duna costera hay diferencias significativas, basadas en el estado de conservación de las geoformas y la vegetación. No obstante, a nivel general,

son más susceptibles las dunas costeras de Las Conchas y Caleta de Famara, y menos susceptibles las de Maspalomas y Corralejo.

Además de este análisis, es importante el estudio de los agentes naturales y antrópicos a los que se exponen estos sistemas así como de las variaciones que han tenido las geoformas estructurales a lo largo del tiempo, que indican su resiliencia. Estas dimensiones completan el análisis de la vulnerabilidad en un marco más amplio que el planteado en este trabajo, basado en una adaptación a las especificidades de Canarias como ejemplo de región árida. En este sentido, se plantea como una herramienta útil para los organismos gestores de estos espacios.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución de los proyectos CSO2010-18150 y CSO2013-43256-R del Plan Nacional de I+D+i, cofinanciados con fondos FEDER. Ha sido desarrollado gracias al programa de ayudas de Formación del Personal Investigador de la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información del Gobierno de Canarias, y a la cofinanciación del Fondo Social Europeo. La primera autora está financiada por un contrato de investigador postdoctoral competitivo de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España).

Referencias

- Alonso I, Jiménez J, Valdemoro HI. Estudio del estado actual de los sistemas dunares de Corralejo y Jandía (Fuerteventura). Identificación de problemas y propuestas de actuación. Informe II, Jandía. Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente; 2006.
- Alverinho Dias JM, Curr RCF, Davies P, Pereira AR, Williams AT. Dune management vulnerability assessment: Portugal and Northwest Europe. In: Soares De Carvahio G, Veloso Gomes F, editors. Littoral 94. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos de la Universidade do Porto, Porto; 1994. pp. 837-848.
- Anderies JM, Janssen MA, Ostrom E. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society*. 2004; 9(1):18.
- Anguita F, Márquez A, Castaneiras P, Hernán F. Los volcanes de Canarias. Madrid: Rueda; 2002.
- Bodéré JC, Cribb R, Curr RHF, Davies P, Hallégouët B, Meur C, Pirou N, Williams AT, Yoni C. La gestion des milieux dunaires littoraux. Evaluation de leur vulnérabilité à partir d'une liste de contrôle. Etude de cas dans le sud du Pays de Galles et Bretagne occidentale. *Noröis*. 1991; 38: 279-298.
- Cabrera L. Sedimentología, estratigrafía, dinámica sedimentaria y evolución de El Jable (Lanzarote). Propuesta de gestión. M.Sc. Thesis. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 2010. In press.
- Cardona OD, Barbat AH. El Riesgo Sísmico y su Prevención. Madrid: Cuaderno Técnico no. 5, Calidad Siderúrgica; 2000.
- Carracedo JC, Pérez-Torrado FJ, Rodríguez-Badiola E. Canarias: Islas volcánicas intraplaca. In: Pérez Torrado FJ, Cabrera ME, editors. Itinerarios geológicos por las Islas Canarias, Gran Canaria. Sociedad Geológica de España, Geo-Guías; 2008; 4. pp. 11-25.
- Chousa B, Anfuso G, Gracia F. Evaluación integral de sistemas dunares costeros mediante índices de vulnerabilidad geoambiental; ejemplos del SW de España. In: Botero CM, Montserrat AL, Pereira CI, editors. Radiografía de la costa: Múltiples miradas científicas de los sistemas socio-naturales costeros de Iberoamérica y el Norte de África. Editorial Académica Española, OmniScriptum GmbH & Co. KG, Saarbrücken; 2014. pp. 55-76.
- Defeo O, McLachlan A, Schoeman DS, Schlacher TA, Dugan J, Jones A, Lastra M, Scapini F. Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2009; 81(1): 1-12.
- Díaz-Guelmes G, Hernández-Calvento L. Análisis de la evolución de las superficies de deflación eólica en la playa de El Inglés (Gran Canaria, Islas Canarias) mediante técnicas de fotointerpretación y teledetección (1960-2002). In: Conesa García C, Álvarez Rogel Y, Martínez Guevara JB, editors. Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: Análisis mediante tecnologías SIG y teledetección. Murcia: Universidad de Murcia; 2004. Vol. II. pp. 177-187.

Fernández-Cabrera E, Pérez-Chacón E, Cruz-Avero N, Hernández-Cordero A, Hernández-Calvento L. Consecuencias ambientales del crecimiento urbano-turístico en el sistema de dunas de Corralejo (Fuerteventura-Islas Canarias). In: Gozávez Pérez V, Marco Molina JA, editors. Urbanismo expansivo de la utopía a la realidad. Alacant: Asociación de Geógrafos Españoles, Colegio de Geógrafos de España i Universitat d'Alacant; 2011. pp. 241-252.

Fernández-Palacios JM, Dias E. Marco biogeográfico macaronésico. In: Fernández-Palacios JM, Martín, JL, editors. Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y conservación. Santa Cruz de Tenerife: Publicaciones Turquesa; 2001. pp. 45-52.

Füssel HM. Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. Global Environmental Change. 2007; 17(2). pp. 155-167.

Gallopín GC. Human Dimensions of Global Change. Linking The Global And The Local Processes. International Social Science Journal. 1991; 43(4). 707-718.

García P. Caracterización sedimentológica y petrográfica de los materiales que afloran en la costa del Parque Natural de Corralejo (Fuerteventura), y su puesta en valor. M.Sc. Thesis, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 2013.

García-Mora MR. Vulnerabilidad de los ecosistemas dunares costeros del golfo de Cádiz (El Algarve, Huelva y Cádiz). Tipos funcionales y estructura de la vegetación. M.Sc. Thesis, Universidad de Sevilla. 2000.

García-Mora MR, Gallego Fernández JB, García Novo F. Plant diversity as a suitable tool for coastal dune monitoring. Journal of Coastal Research. 2000;16: 990-995.

García-Mora, M.R., Gallego-Fernández, J.B., Williams, A.T., García-Novo, F. «A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula». En: Journal of Coastal Research. 2001; 17 (4), 802-811

Gobierno de Canarias. Plan Director de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Dirección General de Ordenación del Territorio; 2004.

Gobierno de Canarias. Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural del Archipiélago Chinijo: Introducción y memoria informativa. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Dirección General de Ordenación del Territorio; 2006a.

Gobierno de Canarias. *Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de Corralejo: Documento informativo*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Dirección General de Ordenación del Territorio; 2006b.

Gracia F, Sanjaume E, Hernández-Calvento L, Hernández-Cordero A, Flor G, Gómez-Serrano M. Dunas marítimas y continentales". In: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, editors. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de Interés Comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino; 2009.

Haroun RJ. El Mar. In: Fernández-Palacios JM, Martín J, editors. Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación. Santa Cruz de Tenerife: Editorial Turquesa; 2001. pp. 103-107.

Hernán F. Estructura geológica. In: Fernández-Palacios JM, Martín JL, editors. Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y conservación. Santa Cruz de Tenerife: Publicaciones Turquesa; 2001. pp. 59-64.

Hernández L, Alonso I, Sánchez-Pérez I, Alcántara-Carrió J, Montesdeoca I. Shortage of sediments in the Maspalomas dune field (Gran Canaria, Canary Islands) deduced from analysis of aerial photographs, foraminiferal content, and sediment transport trends". *Journal of Coastal Research*. 2007; 23 (4): 993-999.

Hernández-Calvento L. Diagnóstico sobre la evaluación del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000). Cabildo de Gran Canaria; 2006.

Hernández-Calvento L, Alonso I, Hernández E, Pérez-Chacón E, Yanes A, Cabrera L. Características propias de los sistemas eólicos actuales de Canarias. Notas preliminares. In: Morales J, Cantano M, Rodríguez A, Delgado I, editors. Nuevas contribuciones sobre Geomorfología Litoral. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Huelva, Sociedad Geológica de España y Sociedad Española de Geomorfología; 2009. pp. 39-43.

Hernández-Calvento L, Suárez C. Characterization of the contemporary aeolian sediment dynamics of Boa Vista (Cape Verde). *Journal of Coastal Research*. 2006; 48: 64-68.

Hernández-Calvento L, Jackson DWT, Medina R, Hernández-Cordero AI, Cruz N, Requejo S. Downwind effects on an arid dunefield from an evolving urbanised area. *Aeolian Research*. 2006; 15: 301-309.

Hernández-Cordero AI, Pérez-Chacón E, Hernández-Calvento L. La investigación como soporte de la gestión: el ejemplo de la duna costera (foredune) de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). In: Rodríguez-Perea A, Pons GX, Roig-Munar FX, Martín-Prieto JA, Mir-Gual M, Cabrera JA, editors. La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa. Palma de Mallorca: Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 19; 2012. pp. 289-305.

Hernández-Cordero A. Análisis de la vegetación como indicadora de las alteraciones ambientales inducidas por la actividad turística en la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas. M.Sc. Thesis, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 2012.

Hernández-Cordero AI, Pérez-Chacón Espino E, Hernández-Calvento L. Vegetation, distance to the coast, and aeolian geomorphic processes and landforms in a transgressive arid coastal dune system. *Physical Geography*. 2015; 36(1): 60-83.

Klein JT, Smit MJ, Goosen H, Hulbergen CH. Resilience and Vulnerability: Coastal Dynamics or Dutch Dikes?. *The Geographical Journal*. 1998; 164 (3): 259-268.

Ley C, Gallego-Fernández JB, Pascual C. Manual de restauración de dunas costeras. Madrid: Dirección General de Costas; 2007.

IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva; 2007.

Instituto de Estadística de Canarias (ISTAC). 2012 Gobierno de Canarias. [Cited 15 May 2012].

Malvárez G, Jackson DWT, Navas F, Alonso I, Hernández-Calvento L. *A Conceptual Model for Dune Morphodynamics of the Corralejo Dune System, Fuerteventura, Spain*. *Journal of Coastal Research*. 2013; SI 65: 1539-1544.

Martínez J, Casas D, Álvarez R. Las formaciones dunares de la Isla de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria; 2006.

Máyer P, Pérez-Chacón E, Cruz N, Hernández L. Características del viento en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias, España). *Nimbus*. 2012; 29: 381-397.

Medina R, Camus P, Requejo S, Luque A, Alonso I, Hernández L, Hernández A. Estudio integral de la playa y dunas de Maspalomas. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente; 2007.

Pérez-Chacón E, Hernández-Calvento L, Hernández-Cordero A, Máyer P, Romero L, Alonso I, Mangas J, Menéndez González I, Sánchez I, Ojeda J, Ruiz P, Alcántara J. Maspalomas: claves científicas para el análisis de su problemática ambiental. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria; 2007.

Pérez-Chacón E, Hernández-Calvento L, Fernández-Negrín E, Romero L, Máyer P, Hernández-Cordero A, Cruz N, Fernández-Cabrera E, Peña C, Corbalán Y, Mangas J, Alonso I, Rodríguez S, Sánchez I, Cabrera L. Caracterización del sistema sedimentario eólico de La Graciosa (archipiélago Canario). Informe final. Centro Isla de La Graciosa (OAPN-Ministerio de MAMRM). ULPGC; 2010.

Rust IC, Illenberger WK. Coastal dunes: sensitive or not? *Landscape and Urban Planning*. 1996;34(3): 165-169.

Santana A, Monteiro M, Hernández L. Reconstructing the environmental conditions of extinct coastal dune systems using historical sources: the case of the Guanarteme dune field (Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Conservation*. 2014; 18(4):323-337.

Williams AT, Davies P, Curr RHF, Bodéré, J.C. An Approach to Coastal Dune Management: the North and West Coastline of France. In: Ozhän E, editors. *MedCoast '93*. Ankara: METU; 1993a. pp. 186-197.

Williams AT, Davies P, Curr RHF, Koh A, Bodéré JC, Hallégouët B, Meur C, Yony C. A check list assessment of dune vulnerability and protection in Devon and Cornwall, UW. In: Magoon O, editors. *Process in Coastal Zone '93*. New York: American Society of Civil Engineers; 1993b. pp. 3395-3408.

Sistemas dunares litorales y el concepto de gestión integrada de zonas costeras y marinas (GIZCM)

Pablo Balaguer Huguet¹, Francesc X. Roig-Munar²

¹ Societat d'Història Natural de les Balears. C/ Margarida Xirgu, 16. 07011 Palma

² QU4TRE, consultoria ambiental. Es Migjorn Gran (Menorca). www.quatreconsultors.com

Resumen

Los sistemas dunares litorales son unos tipos de costa con una elevada sensibilidad y fragilidad, cumplen funciones de defensa natural de la costa frente a la erosión marina, tienen una diversidad biológica principalmente formada por especies (la mayor parte de ellas de carácter cosmopolita) muy adaptadas a un sustrato arenoso y a fluctuaciones de temperatura y humedad, desarrollan un importante papel en el reciclado de nutrientes, actúan de tampón a la intrusión marina, tienen apreciados valores paisajísticos y constituyen áreas de ocio con un elevado interés socioeconómico. Debido a sus características, estos sistemas reclaman un tipo de gestión sostenible en la que deben tenerse en cuenta el máximo de variables y actores que intervienen en su funcionamiento y evolución. La intención de este trabajo es la de relacionar estos tipos de costas con los conceptos teóricos de Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC), Ordenación Espacial Marina (OEM) y Cambio Global. Conceptos muy comunes y versátiles pero que, en este caso, se definen y relacionan con los sistemas dunares costeros puesto que marcan la vía para que estos sean gestionados de una forma sostenible basándose en el conocimiento científico.

Palabras clave: Sistema Dunar Litoral, playa, GIZC, OEM, Gestión

Agradecimientos: Se quiere agradecer al Dr. Guillem X. Pons, profesor del Departamento de Geografía de la Universitat de les Illes Balears, por la ayuda ofrecida en la revisión preliminar del trabajo antes de ser entregado.

Introducción

La zona costera es un ambiente con entidad propia que se localiza entre dos medios: el medio terrestre y el medio marino. Es un ambiente de transición que se manifiesta en todas las riberas del planeta en aquellas zonas en las que el medio terrestre o continental entra en contacto con masas de agua estabilizadas. El carácter de transición determina que el establecimiento de sus límites sea difuso en función de las condiciones locales y regionales, constituyendo un espacio delimitado por umbrales con relativo dinamismo (tanto en lo teórico como en lo práctico). La complejidad de esta zona aumenta cuando incorporamos el componente socioeconómico, de manera que desde tiempos históricos ha sido considerada como un área estratégica tanto para aspectos relacionados con la defensa de los territorios como para aspectos derivados de sus oportunidades de situación, traduciéndose en una elevada actividad comercial y de crecimiento económico.

La elevada coincidencia de factores naturales, socioeconómicos, histórico-culturales y jurídico-administrativos determina que la zona costera sea un ambiente que presenta diferentes grados de fragilidad y que debería gestionarse teniendo en cuenta todos los elementos que la constituyen. La modificación de cualquiera de sus factores en un área costera determinada podría repercutir sobre los factores de otra área y provocar cambios (a menudo no deseados) en una escala de tiempo indeterminada que puede ir desde el corto al largo plazo.

A nivel global, las zonas costeras han experimentado cambios considerables a lo largo del siglo xx, con una subida del nivel del mar que ronda los +17 cm de media (Church *et al.*, 2010); en el área mediterránea, el aumento fue mayor, de entre +20 y +30 cm (EEA, 1999). Estas variaciones, atribuidas al cambio climático

(EEA, 1999, 2000, Church *et al.*, 2010), implican que estemos sumergidos en un proceso de cambio global en el que los cambios climáticos que afectan a la biosfera y la geosfera condicionan el funcionamiento de las estructuras socioeconómicas. Actualmente, un 10 % de la población mundial reside en zonas costeras con una elevación inferior a +10 m (McGranahan *et al.*, 2007; Nicholls *et al.*, 2008). El Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) predijo un aumento comprendido entre +0,20 y +0,80 m para el período 1980-2100; el Quinto Informe mantiene dichas tasas e indica que en el período 1900-2010 se han observado máximos cercanos a +0,20 m (IPCC, 2014). Algunos trabajos señalan que el aumento del nivel del mar se está acelerando en los últimos tiempos, siendo superior al +3 mm/año recogido en el informe Church *et al.* (2010).

Los sistemas dunares litorales representan unos tipos de costa que reúnen todas las características descritas anteriormente. Son sistemas muy variables en el espacio (lo que implica que la delimitación de la propia zona costera sea muy variable), muy dinámicos (línea de costa en continuo cambio debido al activo dinamismo en la distribución sedimentaria tanto en el ámbito terrestre como en el marino), con un alto valor socioeconómico (tanto en sistemas de playas urbanizadas como en aquellas playas y sistemas playa-duna que conservan sus valores naturales), extremadamente frágiles por su propia naturaleza (debido a la biodiversidad asociada y por el equilibrio existente entre los diferentes agentes externos que actúan sobre ellos) y muy vulnerables ante elementos alóctonos, normalmente derivados de la actividad humana, que bien se manifiestan en el mismo sistema o provienen de cambios ocurridos o propiciados en otros tramos o unidades litorales. La importancia de estos sistemas radica en su función de defensa de la costa frente a temporales marinos. Estos tipos de costa tienen una mayor capacidad a la adaptación a cambios de nivel del mar que las costas rocosas y las costas altamente modificadas por el hombre. La capacidad de adaptación vendrá condicionada por la disponibilidad de sedimento tanto en la zona emergida como en la sumergida que asegure una adaptación progresiva de la configuración de la línea de costa frente a las previsiones de subida del nivel del mar, además de asegurar las características biogeográficas y ecológicas propias de estas zonas.

La intención de este trabajo es la de contextualizar los conceptos de gestión y desarrollo sostenibles de la zona costera (Gestión Integrada de Zonas Costeras; Ordenación Espacial Marina) y la relación con los sistemas dunares litorales. De acuerdo con las características generales de estos tipos de costa, la incorporación de los conceptos de gestión sostenible se intuye necesaria tanto para entender las características y procesos que actúan como para establecer las vías adecuadas para conseguir un balance racional entre los diversos intereses creados basado en el conocimiento científico como herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

Descripción general de los sistemas dunares litorales

Los sistemas dunares litorales y las costas de playa están formados principalmente por materiales no consolidados, normalmente sedimento tamaño de arenas (tamaño de grano con diámetro inferior a 2 mm). Estos presentan diferentes grados de sensibilidad y fragilidad variable en los diferentes sectores de los que se componen (figura 1). El esquema general de estos tipos de costa consta de una zona sumergida

infralitoral (*nearshore*) de fondos arenosos, una línea de costa constituida por una playa, un primer cordón dunar localizado en la parte posterior de la playa y una superficie dunar formada por dunas más o menos móviles dependiendo del grado de cobertura vegetal y de la disponibilidad de sedimento (figura 1). En algunas ocasiones se desarrolla una zona húmeda en la parte posterior del primer cordón dunar o del campo de dunas. Los sistemas dunares litorales tienen una elevada importancia por la provisión de ciertos servicios ecosistémicos puesto que las zonas más anteriores del sistema (*foredunes*) actúan como defensa natural de la zona costera frente a oleajes y erosión marina (Koutrakis *et al.*, 2011), tienen un papel acelerador en el reciclado de nutrientes (Nel *et al.*, 2014), proporcionan el hábitat a especies adaptadas a condiciones extremas y a una amplia variedad de vida silvestre (Nordstrom, 2008), presentan apreciados valores paisajísticos debido a unas formas de relieve y hábitats y ecosistemas singulares (Pintó *et al.*, 2013), tienen una importante relevancia turístico-recreativa (García de Lomas *et al.*, 2011) y actúan de tampón frente a la intrusión salina de acuíferos de agua dulce (Bonnet, 1989; Ley *et al.*, 2007). Constituyen un tipo de costa en el que es necesario tener en cuenta todos los factores (naturales y antrópicos) para interpretar su origen y evolución con la finalidad de poder tomar las medidas de gestión más adecuadas que aseguren su perdurabilidad en el tiempo y, al mismo tiempo, puedan seguir siendo un lugar de disfrute público y desarrollo económico de manera acorde con el medio.

A nivel del continente europeo, durante el siglo xx se perdió alrededor del 25 % de la superficie costera ocupada por sistemas dunares litorales; en la actualidad, un 45 % de ellos poseen un buen estado de conservación, cifra que se reduce al 25 % en el Mediterráneo (Salman & Kojman, 1998). En España, en 2007, los sistemas dunares litorales representaban un 40 % del litoral y un 45 % permanecían en estado natural de acuerdo con Ley *et al.* (2007). Estos datos, no obstante son datos promedios generalizados ya que, en caso de la isla de Mallorca, autores como Schmitt (1994) consideran que se mantienen alrededor del 50 % (33 sistemas) de los sistemas dunares litorales originales, de los cuales 14 deben considerarse como completamente destruidos debido a la excesiva construcción y uso intensivo de la playa.

Desde el punto de vista morfodinámico y geomorfológico, los sistemas dunares deben tenerse en cuenta desde la parte sumergida (llanura de mareas/zona infralitoral) hasta la parte más distal del sistema en la zona emergida (Sherman & Bauer, 1993; Servera, 1998; Woodroffe, 2002) (figura 1). La disposición del sedimento y las características físicas de la costa (morfología y clima marítimo) son elementos esenciales que determinan la existencia de los sistemas playa-duna. Las principales fuentes de suministro de sedimento son: erosión de acantilados, aportes fluviales, aportes biogénicos, aportes desde la plataforma continental, aportes eólicos y aportes humanos (regeneraciones, vertidos, etc.). Por otro lado, los principales sumideros o pérdidas del sedimento se deben a: sedimentación en estuarios, puertos, sedimentación en la parte posterior de la playa y en zonas interiores del sistema, fuga de sedimentos hacia la plataforma continental, descomposición de la arena y extracción por parte del hombre (Ley *et al.*, 2007). De acuerdo con Sherman & Bauer (1993), la constitución de un sistema dunar litoral (playa-duna) está estrechamente ligada a la dinámica de las playas y depende de tres factores básicos:

- 1) disponibilidad de aportes de sedimentos de tamaño arena,
- 2) existencia de vientos de dirección mar hacia tierra y
- 3) existencia de corrientes marinas y oleaje adecuado.

A grandes rasgos, la estructura general de los sistemas dunares litorales en estado natural, de acuerdo con la descripción realizada por Servera (1998) para el caso de las islas Baleares, se considera para definir

tipos de costa puesto que comprende desde la zona sumergida hasta la parte emergida, de manera que se realizará una breve descripción de las diferentes subzonas enumeradas a continuación (figura 1):

1) Zona sumergida

En la zona sumergida se diferencia el sector distal, el más profundo y lejano de la línea de costa (hasta los -40 m aproximadamente), hasta donde se desarrollan las praderas de fanerógamas marinas, y el sector proximal (nearshore), el más cercano a la línea de costa, que es donde se produce una redistribución del sedimento continuamente. Es una zona de elevado dinamismo y fragilidad caracterizada por la formación de las barras de sedimento sumergidas y donde se inician los procesos de intercambio del sedimento para asegurar el mantenimiento del sistema playa-duna (Komar, 1998) (figura 1). El origen del suministro de sedimento es quizás el factor más condicionante de la mayor parte de los sistemas dunares litorales, puesto que su continuidad depende de que éste no sea alterado por ninguna circunstancia. Es en esta zona donde los procesos de transferencia de sedimentos de la playa sumergida hacia la playa constituyen la variable principal a tener en cuenta y en donde se localizan la mayor parte de fuentes de sedimento.

En el caso de los sistemas desarrollados en el Mediterráneo, las praderas de fanerógamas marinas juegan un importante papel en la producción de sedimento, que en más de un 80 % es de origen biológico (Servera, 1998; Rodríguez *et al.*, 2000; Roig-Munar *et al.*, 2011). El desarrollo de plataformas litorales homoclinales, la ausencia de turbulencia debida a aportes fluviales y las condiciones ambientales permiten el desarrollo de praderas de fanerógamas marinas (Servera, 1998; Díaz *et al.*, 2009). En el resto del litoral mediterráneo peninsular, el suministro de sedimento viene condicionado en su mayor parte por el aporte de los cursos fluviales (Pintó *et al.*, 2013; Marqués *et al.*, 2011; Sanjaume y Pardo, 2011a; Barjadí *et al.*, 2011). Para el caso de los sistemas dunares litorales mediterráneos localizados en las inmediaciones del estrecho de Gibraltar, la exposición periódica de las llanuras de mareas también actúa como fuente de sedimento. Los sistemas dunares localizados en el SW de la península ibérica y en el litoral cantábrico dependen de los aportes de origen fluvial, de prismas sedimentarios sumergidos en estuarios, de llanuras de mareas y de la influencia ejercida por las corrientes de deriva litoral (Gracia *et al.*, 2011; Rodríguez-Ramírez, 2011; Flor *et al.*, 2011). Los mismos factores, sumados a la erosión de mantos de alteración granítica y la erosión de sedimentos acumulados durante fases frías del Cuaternario, son las principales fuentes de sedimentos para el caso de los sistemas gallegos (Pérez-Alberti y Vázquez-Casado, 2011). En las islas Canarias, los aportes fluviales son limitados, de modo que la principal fuente la constituye la erosión de los relieves costeros y los paquetes de sedimentos relictos pleistocénicos (dunas y paquetes de conglomerados fósiles), la erosión de costas rocosas y acantilados y, en menor medida, áridos provenientes de barrancos y aportes eólicos de las costas occidentales africanas (Criado *et al.*, 2011).

2) Zona de playa

La zona de playa es el área comúnmente más frecuentada por el público en general, sobre todo durante los meses estivales, y es donde se suelen llevar a cabo buena parte de las acciones de gestión y mantenimiento al objeto de asegurar su buen estado para el uso y disfrute de los usuarios. Es la zona que manifiesta de manera más visible el balance sedimentario del área sumergida con los sectores emergidos (Woodroffe, 2002). Se diferencia el sector de playa baja o

mesolitoral (*foreshore*) y la playa alta (figura 1). En lo que respecta a la playa baja, en las zonas con regímenes de mareas, en esta subzona se desarrollan las llanuras de mareas (*foreshore*), que alternan períodos de exposición aérea y de inundación y que juegan un papel importante en el aporte de sedimento a la zona de playa emergida (playa alta) y el sistema dunar (Sanjaume *et al.*, 2011). La zona de batida de oleaje (*swash*) se localiza en esta subzona. Desde el punto de vista morfodinámico, en esta subzona se observa una alternancia de procesos marinos y eólicos. La zona de playa alta se caracteriza porque es donde dominan los procesos eólicos y de acumulación, y solo está afectada por procesos marinos durante episodios de oleaje de régimen extraordinario. En esta subzona aparecen las primeras formas eólicas de carácter efímero (dunas embrionarias) con vegetación pionera (*shadow dunes*, *nebkas*) (Servera, 1998) que también pueden observarse en numerosos sistemas dunares litorales alterados e incluso en playas urbanizadas (Pintó *et al.*, 2013).

3) Zona del primer cordón dunar

También denominado anteduna o duna primaria (*foredune*), es el área inmediatamente posterior a la playa alta y es la zona en la que se pueden observar las primeras formaciones dunares permanentes (primer cordón dunar) debido a que el sedimento es transportado por la acción eólica y es atrapado por la vegetación herbácea (figura 1). Cualquier alteración de la cobertura vegetal en esta zona puede provocar su rápida desestabilización y la desaparición del sedimento, dando lugar a lóbulos de deflación (*blowouts*) (Hesp, 2002). Estas acumulaciones dunares, en tanto que reservorios de sedimento, pueden asegurar el equilibrio de la playa en los episodios de fuertes temporales y cuando las olas alcancen su base, permitiendo la recuperación de la superficie de la playa; también amortiguan la fuerza del viento y reducen el transporte de spray marino hacia el interior del sistema, permitiendo el desarrollo de vegetación en la parte posterior (Martínez-Taberner, 1983; Martín Prieto y Rodríguez-Perea, 1996; Servera, 1998).

4) Zona de dunas móviles y semiestabilizadas

Normalmente, entre la zona del primer cordón dunar y la zona de dunas móviles y semiestabilizadas existe una zona deprimida llamada depresión interdunar (Ley *et al.*, 2007). Esta zona también se denomina zona de dunas secundarias o de dunas grises (figura 1). Las condiciones para el crecimiento vegetal son más adecuadas y el desarrollo de la vegetación permite la producción de una capa de humus que contribuye a la formación del suelo (Ley *et al.*, 2007). La extensión de esta zona no es uniforme y suele estar condicionada al estado de conservación/degradación del primer cordón dunar, y de ello dependerá el desarrollo de diferentes tipos de formas de dunas (parabólicas, *hummocks*, *shadow dunes*, *nebkas*).

5) Zona de dunas estabilizadas

Esta zona también puede ser definida como zona de dunas terciarias o zona de arbustos y bosques (Ley *et al.*, 2007) (figura 1). La creación de suelo edáfico aumenta a medida que nos adentramos en la misma. Los procesos de deflación eólica son poco frecuentes, y las dunas (normalmente, de formas parabólicas) se encuentran completamente estabilizadas por la vegetación. La cobertura vegetal es arbustiva y de porte arbóreo. Hay poca aportación de arena y esta solo tiene lugar durante episodios de fuertes vientos. Frecuentemente, la vegetación de estas zonas está confinada por la acción humana, siendo difícil encontrar la vegetación natural (Ley *et al.*, 2007).

Cabe citar la existencia de campos dunares costeros no vegetados debido a las escasas precipitaciones necesarias para el desarrollo de la cobertura vegetal. Estos están formados por dunas con morfologías análogas a las que se desarrollan en áreas desérticas y con una elevada movilidad (Ley *et al.*, 2007). Además, es preciso citar la influencia de formas erosivas en los sistemas dunares: es el caso de los lóbulos de deflación, o *blowouts*, que pueden acabar condicionando la estructura de todo el sistema (Mir-Gual, 2014). Un ejemplo claro es el *blowout* de Cala Mesquida (Mallorca, Islas Baleares), cuya evolución alcanza hasta la zona de dunas estabilizadas. De este modo, es preciso considerar este tipo de morfologías en los criterios de clasificación de sistemas dunares litorales.

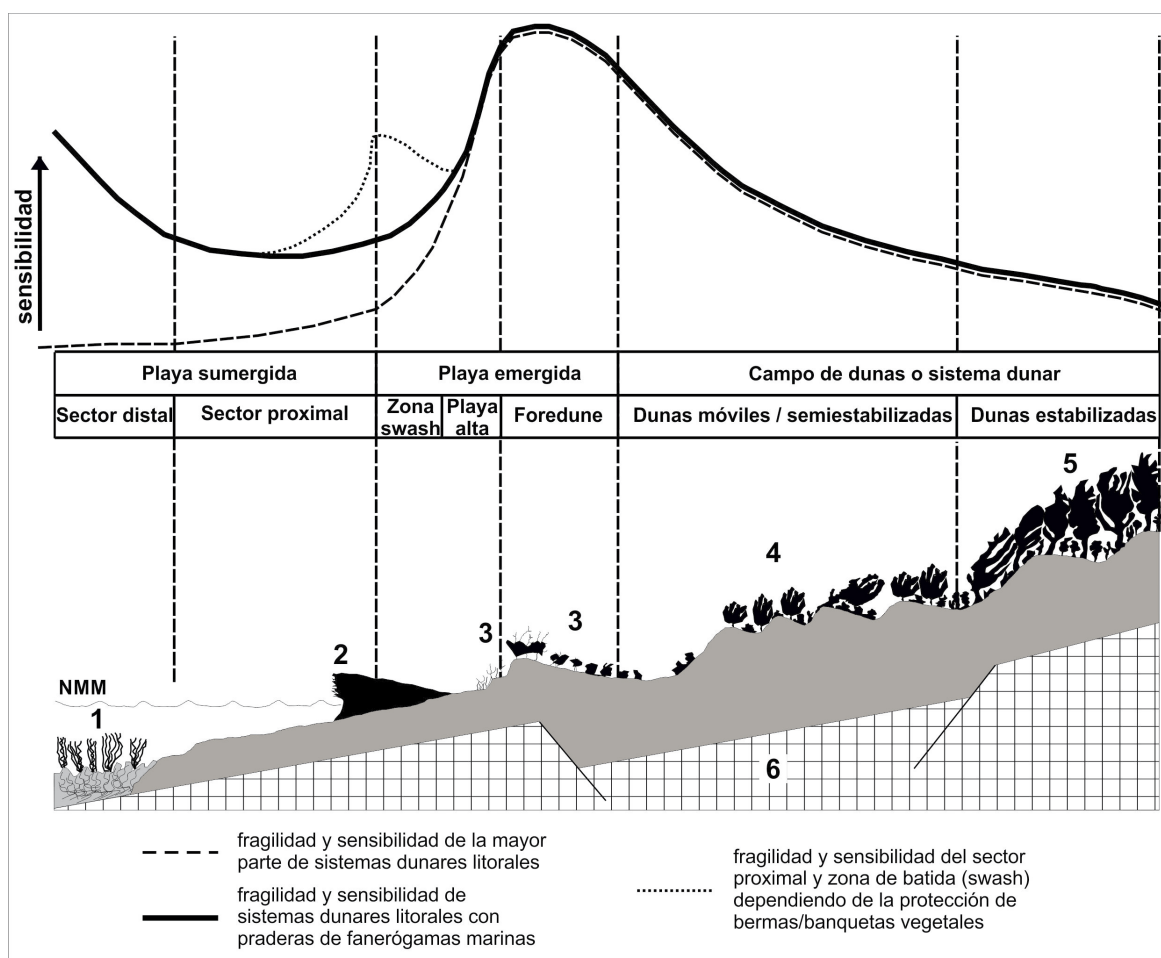


Figura 1: Esquema general de los sistemas dunares litorales y sus diferentes grados de sensibilidad de acuerdo con el área geográfica en que se desarrollan. Según Brown y McLachlan (1990), Rodríguez-Perea *et al.* (2000) y Roig-Munar y Martín-Prieto (2006). 1: praderas de fanerógamas marinas; 2: banquetas/bermas vegetales formadas por fanerógamas marinas (principalmente, *Posidonia oceanica*); 3: vegetación herbácea de playa alta y primer cordón dunar; 4: vegetación de porte arbustivo; 5: vegetación de porte arbóreo; y 6: sustrato sobre el que se desarrolla el sistema dunar litoral.

El concepto de integridad en la concepción de la zona costera

Desde el punto de vista de la gestión, la zona costera debe ser comprendida como un espacio que presenta una pluralidad de factores y condicionantes de tipo natural (entendidos como los que aglutinan factores físicos-geomorfológicos y la biodiversidad en su conjunto) y socioeconómicos (derivados de la actividad humana). Se procede a definir los conceptos de: 1) Gestión Integrada de Zonas Costeras, 2) Ordenación Espacial Marina y 3) Cambio Global, mencionados en la mayor parte de los trabajos científicos sobre gestión costera (en especial, de playas y dunas litorales) y en iniciativas de gestión y planificación desarrolladas en la zona costera (Ley *et al.*, 2007).

La breve exposición de estos conceptos puede instruir al lector sobre los objetivos perseguidos y la complementariedad entre ellos, así como también ayudar tanto al usuario de la zona costera como a los gestores e investigadores a contextualizar los diferentes planes y medidas de gestión que se desarrollan continuamente a lo largo del litoral y, en especial, en zonas de playas y sistemas playa-duna.

1) Gestión Integrada de la Zona Costera

De acuerdo con su nombre, lo ideal sería que la zona costera se gestionara, en la medida de lo posible, bajo una visión de integridad de acuerdo con el concepto de Gestión Integrada de la Zona Costera (GIZC), también definido bajo la nomenclatura de Gestión Integrada de Áreas Litorales (GIAL), ambos citados de forma simultánea en la literatura científica hispana. La GIZC o GIAL es un concepto por el cual un proceso o iniciativa de gestión debe ser un proceso continuo y dinámico que acerca a: a) las instituciones gubernamentales y las esferas sociales, b) la ciencia y la gestión y c) los intereses públicos y privados con la finalidad de diseñar e implementar una planificación integral para la protección y el desarrollo de los ecosistemas y recursos de la zona costera (Olsen *et al.*, 1997). Cicin-Sain y Knecht (1998) puntualizan que debe ser un proceso en el que se incluyan decisiones racionales teniendo en cuenta la conservación y el uso sostenible de los recursos y el espacio costero y marino. Doménech *et al.* (2010) definen el concepto de GIZC como un proceso que debe ser dinámico, pluridisciplinar e iterativo para promover el desarrollo sostenible de las zonas costeras y que debe abarcar el ciclo completo que comprende desde la recogida inicial de información y diagnóstico hasta la planificación (en sentido amplio), la toma de decisiones, la gestión activa y efectiva y el seguimiento de la implementación. Barragán (2004) comparte las definiciones anteriores añadiendo algunas matizaciones y define la GIAL, además, como un proceso con carácter iterativo destinado a promover un desarrollo de tipo sostenible en las zonas costeras mediante la integración de políticas, objetivos, estrategias y planes sectoriales en el espacio y en el tiempo y la integración de los componentes terrestres y marinos del litoral, tratándose de un instrumento al servicio de una política pública basado en la cooperación y la participación.

La GIZC, además de ser una vía por la que se promueve la conservación del patrimonio natural y el desarrollo económico, también es efectiva para solventar una amplia variedad de conflictos de usos y explotación de recursos del medio costero (Clark, 1997). Es un proceso de participación y cooperación de todas las partes para valorar los objetivos y enfoques de los diferentes actores implicados (ámbitos económicos y sociales) de cara a poder alcanzar un desarrollo sostenible en la zona costera. La GIZC/

GIAL busca el equilibrio a largo plazo de los objetivos medioambientales, económicos, sociales, culturales y recreativos, dentro de los límites marcados/permitidos por el entorno natural. Es importante señalar que el concepto de integración se refiere tanto a los objetivos establecidos como a los instrumentos necesarios para alcanzar esos objetivos; la integración debe afectar a todos los niveles (política, planificación, sectores económicos) y a los elementos espaciales terrestres y marinos, tanto en el tiempo como en el espacio. De este modo, el concepto de GIZC/GIAL se presenta como un proceso que debe ser de carácter cíclico y continuo en el tiempo (Olsen *et al.*, 1997; IOC-UNESCO, 1997) (figura 2).

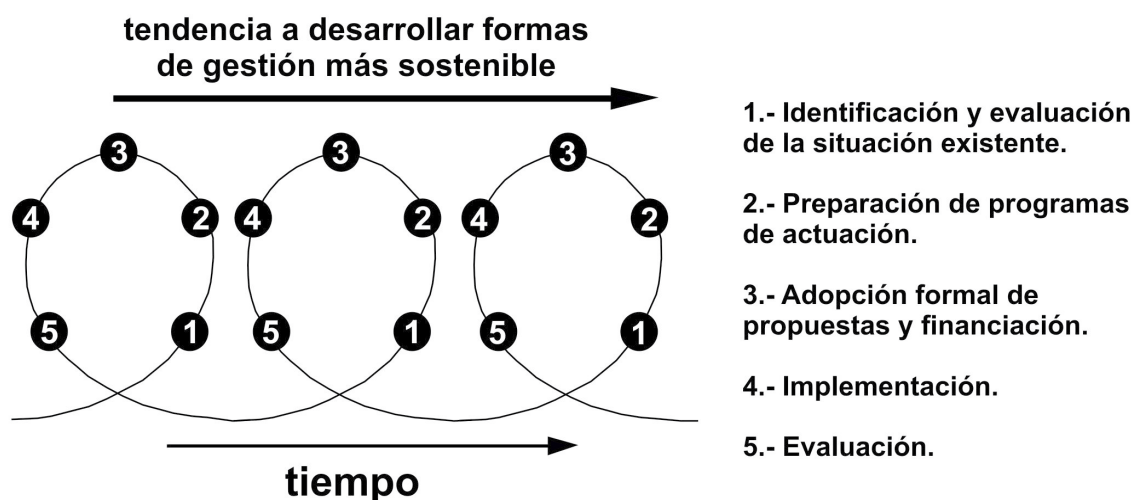


Figura 2: Ciclo continuo de las políticas y planificaciones de acuerdo con un concepto de Gestión Integrada de Zonas Costeras y Marinas (GIZC/GIAL). Según Olsen *et al.* 1997.

La implantación de planes de gestión de acuerdo con el concepto de GIZC/GIAL se presenta como un reto, puesto que el carácter cíclico e integral implica la necesidad de tiempo suficiente para que se puedan constituir procesos iterativos de carácter cíclico (figura 2), frente a los plazos cuatrienales que suelen tener las iniciativas convencionales. Las iniciativas de GIZC/GIAL no deberían estar sujetas a fechas de finalización, sino que las fechas únicamente deberían fijarse para cumplir objetivos en sus diferentes fases (figura 2). Pero la finalidad del concepto no puede responder a ningún otro tipo de interés que el de contribuir a un desarrollo sostenible de la zona costera sin intereses políticos, personales y económicos que puedan entorpecerlos.

2) Ordenación Espacial Marina

Los primeros antecedentes de la Ordenación Espacial Marina (OEM) (*Marine Spatial Planning*) se remontan a hace 30 años. Se trata de un proceso práctico dirigido a establecer una organización racional del ámbito marino y un balance objetivo entre los diferentes usos que en él se desarrollan (Ehler & Douvere, 2009). La OEM debe ser un proceso público de análisis y localización de la distribución temporal y espacial de las actividades desarrolladas por el hombre en ambientes marinos con la intención de lograr objetivos de tipo ecológico, económico y social que un área o región debe determinar a través de un proceso político (*ibid.*). En el ámbito costero, las iniciativas de OEM deben complementarse con iniciativas de GIZC/GIAL, que en muchos casos centran su mayor atención en el medio terrestre de la

zona costera. Además, la GIZC se basa en que la gestión de los recursos costeros (tanto del ámbito marino como terrestre) debe estar completamente integrada, al igual que lo están los ecosistemas que forman parte de estas áreas.

La imbricación de las zonas objeto de estudio o análisis de la GIZC/GIAL y la OEM nos conduce al término de Gestión Integrada de Zonas Costeras y Marinas (GIZCM), que incorpora «oficialmente» el ámbito marino a la zona costera como elemento complementario y forzosamente unido (Cicin-Sain y Belfiore, 2005). En el caso de los sistemas playa-duna, esta concepción se presume como indispensable puesto que condicionantes como la dinámica del sistema o la fuente u origen del sedimento deben considerar en profundidad el ámbito marino de la zona costera (figura 1). De este modo, la caracterización espacial y la gestión racional y coherente de los sistemas dunares litorales y de los agentes modeladores que actúan sobre ellos precisa conocer las áreas (marinas y terrestres) que ejerzan una influencia directa sobre estos.

La OEM constituye una prioridad para la UE, incluyendo en ello a importantes equipos y grupos científicos. El logro de un estado medioambiental óptimo y un uso sostenible de ecosistemas y recursos marinos son los principales objetivos de la Política del Medio Marino de la Unión Europea a través de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (Directiva 2008/56/CE, Marine Strategy Framework Directive, MSFD) y, con carácter retroactivo, de la Directiva Marco sobre el Agua (Directiva 2000/60/CE) y de las directivas sobre los Hábitats y las Aves (Directiva 1992/43 CEE y Directiva 1979/403/CEE, modificada en Directiva 2009/147/CE, respectivamente). La Directiva 2008/56/CE (MSFD) está dirigida a alcanzar un estado óptimo de las aguas marinas de la UE a partir de un enfoque integrado y un consenso común para su gestión a través de la Aproximación Ecosistémica como marco guía de referencia. La Aproximación Ecosistémica puede definirse como aquella que gestiona de manera integrada los recursos y que reconoce la conexión entre los medios marino, terrestre y atmosférico y todos sus componentes vivos (incluidas las personas, actividades económicas e instituciones). La zona costera y, concretamente, los sistemas dunares litorales (figura 1) se presentan como la conexión geográfica de las áreas objeto de estudio tanto de la OEM como de la GIZC/GIAL, y esto implicará que ambos procesos estén necesariamente destinados a compenetrarse e identificarse el uno con el otro.

3) Cambio Global

El Cambio Global, de acuerdo con el Global Change Research Act, 1990, es un concepto que se define como «el conjunto de cambios que afectan al medio ambiente global (incluyendo las alteraciones del clima, la productividad del suelo, los recursos oceánicos o de agua dulce, la química, la atmósfera y la ecología de los sistemas terrestres) que pueden alterar la capacidad del planeta para garantizar la vida». De este modo, la zona costera se puede definir, al igual que como compleja, como una zona frágil, en la que la fragilidad aumenta cuanto más singulares sean los hábitats naturales que la constituyan. La fragilidad de los hábitats y ecosistemas costeros, así como de su entramado socioeconómico, se pone de manifiesto ante las previsiones sobre el cambio climático y, en consecuencia, el cambio global (Ricketts, 2009).

Las zonas costeras, concretamente los sistemas dunares litorales, son zonas extremadamente sensibles ante posibles cambios futuros que conciernen a la sucesión del clima y al eustatismo. Las previsiones referentes a Cambio Global influirán en el devenir de las zonas costeras al tiempo que precisarán

acciones de gestión de carácter integrador que sean capaces de reunir todos los factores y procesos y a todas las administraciones (en lo relativo a la jurisprudencia) y actores. La Gestión Integrada de Áreas Marinas y Terrestres (GIZCM), más que como otra forma de gestionar el litoral se presenta como una necesidad «obligatoria» a la que deben remitirse todos los ambientes litorales sin excepción alguna (Ricketts, 2009).

Dentro de las funciones que desempeñan los sistemas dunares litorales, es la de defensa de la zona costera la que queda más comprometida frente a un escenario de Cambio Global propiciado por el Cambio Climático

Sistemas dunares litorales vs. conservación y gestión sostenible

Los sistemas dunares litorales están comprendidos dentro de unidades costeras que trascienden los límites de estos. De este modo, una gestión de acuerdo con el concepto de integración (GIZCM) podrá tener en cuenta y tomar medidas adecuadas de tipo proactivo, de corrección o de tipo reactivo si las fuentes y sumideros de sedimentos son bien conocidos. En muchas ocasiones, las fuentes y sumideros de sedimentos están alterados por desequilibrios que derivan de modificaciones acontecidas en otras áreas costeras que acaban repercutiendo en la evolución de los sistemas dunares litorales.

La importancia natural y socioeconómica, descrita en capítulos anteriores, que juegan los sistemas dunares hace que su gestión y conservación actualmente sea una de las principales prioridades ambientales a nivel nacional e internacional (Bonnet, 1989; García de Lomas *et al.*, 2011). Cualquier estudio de descripción y análisis de un sistema dunar contribuye a la obtención de un mayor conocimiento de estos sistemas y, por tanto, al diseño de una gestión efectiva y sostenible. El mayor conocimiento de estos sistemas posibilitará la determinación del origen de muchos de los impactos y desequilibrios que les afectan, lo cual favorecerá la transición de tipos de gestión enfocados al usuario hacia tipos de gestión centrados en el funcionamiento del sistema integrando el mayor número de factores y variables. Desde un punto de vista teórico, una gestión de acuerdo con un concepto de integración obviará medidas que busquen soluciones a corto plazo (limpieza mecanizada de playas), como las que se suelen llevar a cabo en las playas urbanas (Iribas, 2002), y procurará medidas sostenibles adecuadas a sistemas dunares naturales (Jiménez y Valdemoro, 2003; Roig-Munar, 2010).

El conocimiento del balance sedimentario de la playa es esencial para conocer el desarrollo de los sistemas dunares litorales a fin de poder determinar si el sistema es regresivo, en equilibrio o progradante (Ley *et al.*, 2007). Una correcta gestión de los sistemas dunares litorales necesita de un adecuado conocimiento de los procesos morfodinámicos que tienen lugar y de los efectos que las actuaciones humanas tienen sobre las geoformas y la estabilidad de los sistemas; de este modo, el concepto de GIZCM deberá estar presente en cualquier tipo de iniciativa de gestión.

Los aportes sedimentarios artificiales (regeneraciones artificiales) son una entrada de sedimento de carácter extraordinario que en algunos casos puede no ser efectiva a causa de la fuga posterior de sedimentos por corrientes de deriva y oleaje debido a que el diámetro de grano de la arena transportada

no es de suficiente calibre (Medina *et al.*, 2001), o bien puede producir el enterramiento de praderas de fanerógamas marinas (Gacia y Duarte, 2001; Rodríguez *et al.*, 2000), comprometiendo aún más las fuentes de suministro de sedimento arenoso (en este caso, de tipo biogénico). Las praderas de fanerógamas marinas constituyen una parte de la zona sumergida de los sistemas dunares litorales localizados en las costas mediterráneas, y es por ello por lo que resulta necesario el estudio de los diversos impactos a las que están sometidas. El efecto de las anclas y los fondeos de embarcaciones (en su mayor parte, de tipo recreativo) sobre fondos de *Posidonia oceanica* constituye una amenaza puesto que destruye estos tipos de fondo ocasionando efectos irreversibles (Milazzo *et al.*, 2004; Díaz y Marbà, 2009); por ello, la ordenación de fondeos mediante campos de boya de fondeo y, sobre todo, mediante campañas de concienciación de fondeo sobre arena deben constituir una parte de las medidas de gestión (Roig-Munar, 2003; Balaguer *et al.*, 2011; Diedrich *et al.*, 2013).

La Ley de Costas (Ley 2/2013 de Protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988) y posterior modificación de su reglamento (R.D. 876/2014 por el que se aprueba el Reglamento General de Costas) no muestra el interés suficiente por los sistemas dunares de acuerdo con estudios relacionados con la gestión de estos tipos de costa (García de Lomas *et al.*, 2011). El Reglamento de la Ley 2/2013, en su artículo 3.º, considera las costas constituidas por playas y sistemas dunares litorales como parte del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT) y las introduce como costas de suma importancia debido a su función de defensa natural. En el mismo artículo se definen seis tipos de duna: 1) en desarrollo o embrionaria, 2) en desplazamiento o evolución, 3) primaria, 4) secundaria, 5) estabilizada y 6) relictas. El artículo 4.º expone los argumentos polémicos de esta Ley en lo que a sistemas dunares litorales se refiere, puesto que excluye del DPMT las dunas estabilizadas (figura 1) y las dunas relictas, entendiendo «que no son necesarias para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa salvo en casos excepcionales en los que la mejor evidencia científica disponible demuestre que la duna estabilizada sea necesaria para garantizar la estabilidad del sistema». De acuerdo con lo expuesto, desde un enfoque crítico se puede entender que esta Ley 2/2013 de Costas considera estos tipos de costa desde una visión algo sectorial y poco integradora, puesto que todos los esfuerzos en la protección se basan en asegurar la existencia de la playa como elemento de defensa, obviando el papel de impedimento a la intrusión marina y sus funciones como reservorio de biodiversidad y provisión de servicios de ecosistemas. De acuerdo con su propio nombre, se trata de una ley y un real decreto dirigidos a regular el uso y la explotación de la costa y sus recursos, aunque la rigidez en las definiciones de los diferentes tipos de costa puede chocar con enfoques de gestión costera sostenible de carácter integrado. En alusión al artículo 4 del Reglamento de la Ley 2/2013 de Costas, se intuye necesaria la elaboración de estudios científicos de calidad que demuestren que son áreas dinámicas o que su preservación es imprescindible de cara a la persistencia del sistema dunar litoral en su conjunto. La consideración de los sistemas dunares litorales en un marco de integración hubiera ayudado a determinar todos los campos dunares como DPMT.

Los principales impactos que afectan a los sistemas dunares litorales clarifican más la evidencia sobre la correcta gestión de estos tipos de costa y de los espacios costeros en general, que debe estar ligada al concepto de integridad no solo a escala local sino también a escala regional (grandes bahías, estuarios, vertientes costeras de largo recorrido y gran influencia de las corrientes de deriva litoral, zona infralitoral, plataforma continental...). La determinación de los umbrales de la zona costera de acuerdo con una visión integrada y de conformidad con una GIZCM ha sido abordada por trabajos como el de Balaguer *et al.* (2008), en el que se propone la clasificación de la costa en

Unidades Litorales, discriminadas según las características de usos del suelo, la protección de espacios naturales y la tipología de costas (sustrato, altura), y determinando las áreas de influencia (zonas complementarias y adyacentes) en las que cualquier factor puede afectar al funcionamiento tanto de la propia unidad litoral como de unidades cercanas e incluso más lejanas (p. ej., es el caso de las cuencas de drenaje que vierten hacia la propia unidad o la zona infralitoral). La exposición de los principales impactos y problemas de gestión generalizados que afectan a los sistemas dunares de acuerdo con Ley (2012) refleja que el correcto funcionamiento de estos sistemas trasciende de sus límites, y su conservación puede verse comprometida tanto por acciones llevadas a cabo en otros sectores costeros de naturaleza muy diferente como por acciones humanas (p. ej., construcción de infraestructuras, vertidos o fondeos sobre praderas de fanerógamas). Los principales impactos y problemas de conservación que afectan a los sistemas dunares litorales, de acuerdo con lo propuesto por Ley *et al.* (2007), García de Lomas *et al.* (2011), Sanjaume y Pardo (2011b), y Ley *et al.* (2011), son:

1) Dragado de arenas

El dragado de arenas, tanto en la propia plataforma sumergida frente al sistema dunar como en cualquier sector costero próximo, puede comprometer el suministro de sedimento arenoso que proporciona estabilidad a la playa y al primer cordón de dunas. Dichos impactos pueden complicar las estrategias de gestión puesto que el principal *input* del sistema puede desaparecer, al tiempo que comprometen las praderas de fanerógamas marinas (entre otros hábitats y ecosistemas de interés) en el ámbito de los sistemas dunares litorales.

2) Extracción de áridos en el sistema dunar

La extracción, a lo largo del siglo xx, de áridos de la zona dunar y de la propia playa como material de construcción ha demostrado con creces que no es una práctica adecuada de cara a la conservación del sistema dunar, puesto que se pierden los valores de diversidad y singularidad paisajística al tiempo que se modifica la estructura del sistema de forma irreversible. La utilización de los sistemas dunares litorales a este fin está estrechamente relacionada con la baja valoración que estos espacios, considerados como eriales y/o insalubres, han tenido a lo largo de la historia.

3) Extracción de aguas freáticas

La extracción de aguas freáticas de acuíferos relacionados con sistemas dunares litorales da lugar a la intrusión de agua salina y propicia el desecamiento de las áreas húmedas localizadas en la zona de *backshore* (en caso de que existan). En este caso, la biodiversidad del sistema e incluso la estabilidad geomorfológica (desaparición de vegetación y reactivación de la migración dunar) serán un reto para las iniciativas de gestión. Respecto a este punto, cabe señalar que la Ley 2/2013 de Costas no contempla el «efecto tampón» a la intrusión marina que ejercen los sistemas dunares litorales.

4) Uso agrícola

La transformación de terrenos dunares en campos de cultivo modifica completamente el paisaje y la dinámica geomórfica del sistema. Se elimina la vegetación climácica, comprometiendo la fauna asociada y modificando la estructura natural del suelo y la capa freática,

y se introducen plaguicidas y fertilizantes. Estos procesos dan lugar a una pérdida de diversidad, eliminación de perturbaciones naturales y pérdida de los valores paisajísticos (García de Lomas, 2011).

5) Uso ganadero

El pastoreo puede producir la desaparición de la vegetación y la compactación del suelo y originar un aumento de la erosión. Todos estos procesos darán lugar a la pérdida de la capacidad de interceptación de la arena. Aunque un pastoreo controlado puede contribuir al aumento de la diversidad.

6) Plantaciones forestales

La estabilización de los sistemas dunares litorales mediante plantaciones forestales a fin y efecto de preservar los campos de cultivo cercanos de ser invadidos por las dunas es un proceso común en todo el mundo y en España desde el siglo xviii (Granados *et al.*, 1984; García-Novo y Marín, 2005; Roig-Munar *et al.*, 2009; Mir-Gual *et al.*, 2010). La vegetación arbórea (generalmente, *Pinus* sp.) introducida da lugar a la pérdida de diversidad, reduciendo las comunidades y especies autóctonas. A nivel administrativo, estas masas boscosas introducidas a menudo se consideran bosques costeros y suelen constituir un obstáculo a tener en cuenta para las iniciativas de gestión que pretenden la restauración de comunidades autóctonas.

7) Urbanización

De acuerdo con la bibliografía consultada, no solo los procesos de urbanización y transformación del territorio llevados a cabo dentro del propio sistema dunar afectan negativamente, sino que también la urbanización de áreas cercanas incide en la desaparición de zonas naturales relacionadas con el sistema, en detrimento de la biodiversidad y geomorfología de estos sistemas costeros. La transformación de las zonas costeras (urbanizaciones, puertos, etc.) durante el siglo xx ha condicionado la existencia de la mayor parte de los sistemas dunares costeros. La construcción de puertos, obras de defensa militar y estructuras de protección marítimas como diques y espigones puede modificar los regímenes de corrientes y comprometer el suministro de sedimento. A nivel de gobernanza, es necesario que las políticas de ordenación del territorio (p. ej., planes generales de ordenación urbana, normas subsidiarias, planes de desarrollo sectorial) se coordinen para respetar estos espacios naturales, no urbanizándolos y tratando de mantener sus valores e incluso de contribuir a la regeneración de aquellos que lo precisen.

8) Actividades recreativas

Los sistemas dunares litorales en nuestro país son espacios de ocio muy valorados y muy visitados. El exceso de usuarios y el incumplimiento de las indicaciones anunciadas en los paneles para la conservación y restauración de los sistemas dunares litorales conducen a su degradación progresiva. En este apartado también se incluyen las actividades de mantenimiento y limpieza de las playas, que se plantea como una necesidad ante la gran cantidad de visitantes diarios, sobre todo durante los meses de verano. A estos efectos, en los sistemas dunares litorales naturales es importante el uso de técnicas lo menos mecanizadas posible a fin de no alterar la estructura del sistema y no incentivar la fuga

de sedimento (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000; Roig-Munar, 2010). La construcción de pasarelas de acceso de usuarios a la playa que interfieran lo mínimo posible el desarrollo del campo dunar, la restauración de lóbulos de deflación, la instalación de barreras-trampa de sedimento en la zona de la playa alta y el primer cordón dunar, y las políticas de control de fondeo de embarcaciones para preservar las praderas de fanerógamas marinas son, en general, algunas de las medidas de contingencia asociadas a los planes de gestión de los sistemas dunares litorales.

9) Construcción de presas y extracción de áridos de lechos fluviales

La construcción de presas es un claro ejemplo de que las políticas de planificación de cuencas hidrográficas también deben contemplar el concepto de integración de la zona costera. La construcción de presas y la extracción de áridos del lecho fluvial dan lugar a la modificación del transporte de áridos provenientes de las cuencas de drenaje, hecho que ha comprometido numerosos sistemas de playa y playa-duna debido al cese en el suministro de sedimentos. La coordinación de las iniciativas de gestión de los sistemas dunares litorales con las políticas hidrológicas (necesariamente de interés general) es sin duda uno de los aspectos más delicados en aquellas costas en las que el suministro sedimentario depende de los aportes fluviales. Es preciso también señalar que el descenso del aporte sedimentario por parte de los sistemas fluviales puede deberse al descenso de las precipitaciones ligado al cambio climático. La playa de S'Abanell (Blanes, Cataluña) es un buen ejemplo, puesto que prácticamente ha desaparecido debido a la eliminación del sistema dunar por procesos de urbanización y por una disminución del aporte sedimentario del río Tordera (Sardá *et al.*, 2013).

Como conclusión final, los sistemas dunares litorales deben gestionarse mediante iniciativas de carácter integral y, en muchos casos, no solo de la zona costera, sino también de cualquier actividad o iniciativa con una manifestación territorial que pueda tener repercusiones sobre la zona costera. Es necesaria una coordinación y adaptación de políticas de desarrollo territorial para conseguir una gestión integrada de estos sistemas tanto a nivel espacial como temporal y determinar los ecosistemas y hábitats que puedan verse afectados a fin de poder asegurar su perdurabilidad en el tiempo, mantener sus características esenciales, procurar un buen estado de conservación y asegurar la función de defensa natural de la costa frente al cambio climático.

Referencias

- Balaguer P, Sardá R, Ruiz M, Diedrich A, Vizoso G, Tintoré J. A proposal for boundary delimitation for integrated coastal zone management initiatives. *Ocean & Coastal Management*. 2008;51: 806-814.
- Balaguer P, Diedrich A, Sardá R, Fuster M, Cañellas B, Tintoré J. Spatial analysis of recreational boating as a first key step for marine spatial planning in Mallorca (Balearic Islands, Spain). *Ocean & Coastal Management*. 2011; 54: 241-249.
- Barragán JM. Las áreas litorales de España: del análisis geográfico a la gestión integrada. Cádiz: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz; 2004.
- Barjadí T, Zazo C, Lario J, Goy JL, Cabreo A, Dabrio CJ, Silva PG. Las dunas del presente y último interglacial en Málaga, Almería y Murcia. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. *Las dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 331-358.
- Bonnet J. Aspects of conservation and management of the sand-dune areas in Spain. In: Meulen F, Jungerius PD, Visser JH, editors. *Perspectives in coastal dune management: towards a dynamic approach*. SPB Academic Publishers; 1989. pp. 269-275.
- Brown AC, McLachlan A. *The Ecology of Sandy Shores*. Amsterdam: Elsevier; 1990. pp. 328.
- Church JA, Aarup T, Woodworth PL, Wilson WS, Nicholls RJ, Rayner R, Lambeck K, Mitchum GT, Steffen K, Cazenave A, Blewitt G, Mitrovica JX, Lowe JA. Aumento y variabilidad del nivel del mar. Resumen para responsables de políticas; 2010. pp. 12.
- Clark JR. Coastal Zone Management for the new century. *Ocean & Coastal Management*. 1997;37 (2):191-216.
- Cicin-Sain B, Knecht R. *Integrated Coastal and Ocean Management. Concepts and practices*. Washington DC: Island Press; 1998. pp. 517.
- Cicin-Sain B, Belfiore S. Linking marine protected areas to integrated coastal and ocean management: A review of theory and practice. *Ocean & Coastal Management*. 2005; 46 (11-12): 847-868.
- Criado C, Yanes A, Hernández L, Alonso, I. Origen y formación de los depósitos eólicos de Canarias. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. *Las dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 447-466.
- Díaz E, Marbà N. 1120 *Posidonium oceanicae*. Praderas de *Posidonia oceanica*(*). In: VVAA. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino; 2009. pp. 129.
- Diedrich A, Terrados J, Arroyo NL, Balaguer P. Modeling the influence of attitudes and beliefs on recreational boaters' use of buoys in the Balearic Islands. *Ocean & Coastal Management*. 2013;78: 112-120.
- Doménech JL, Sanz FJ, Jiménez L, De Carvalho C, Jiménez JA, Díaz MM, Carballo A, Bernabéu AM, Sardá R, Sebastián C, Molina A, García-Aranda C, Fernández-Palacios Y, Tintoré J, García-Negro MC, Diedrich A. *Guía para la implementación de un sistema de gestión integrada de la zona costera*; 2010.

Ehler C, Douvère F. Marine Spatial Planning: A Step-by-Step Approach Toward Ecosystem-Based Management. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. IOC Manual and Guides. 2009;53(6): 99.

European Environmental Agency - EEA. State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment. European Environmental Agency; 1999.

Flor G, Martínez Cedrún P, Flor Blanco G. Los campos dunares de Asturias, Cantabria y País Vasco. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 127-159.

Gacia E, Duarte CM. Elucidating sediment retention by seagrasses: sediment deposition and resuspension in a Mediterranean (*Posidonia oceanica*) meadow. Estuarine Coastal and Shelf Science. 2001; 52: 505-514.

García de Lomas J, Gracia FJ, García C. Las dunas como hábitats de interés comunitario. Problemas de conservación. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 585-608.

Gracia FJ, Benavente J, Alonso C, Del Río L, Abarca JM, García de Lomas J, Anfuso G. Las dunas del litoral gaditano. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 359-386.

Hesp P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology, and dynamics. Geomorphology. 2002; 48: 245-268.

IOC-UNESCO. Methodological guide to integrated coastal zone management. Intergovernmental Oceanographic Commission. 1997; 36: 49.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: IPCC; 2007. pp. 104.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC; 2014. pp. 151.

Iribas JM. Una perspectiva sociológica sobre las playas. Obras Públicas, Ingeniería y Territorio. 2002; 61: 78-85.

Jiménez JA, Valdemoro H. La influencia de la dinámica costera en la explotación turística de playas (I). Equipamientos y Servicios Municipales. 2003;109: 28-37.

Komar PD. Beach Processes and Sedimentation. Prentice Hall; 1998.

Koutrakis E, Sapounidis A, Marzetti S, Marin V, Roussel S, Martino S, Fabiano M, Paoli C, Rey-Valette H, Povh D, Málvarez CG. ICZM and coastal defence perception by beach users: Lessons from the Mediterranean coastal area. Ocean & Coastal Management. 2011; 54:821-830.

Ley C, Gallego J, Vidal C. Manual de restauración de dunas costeras. Ministerio de Medio Ambiente,

Dirección General de Costas; 2007. pp.258.

Ley C, Navarro Pons M, Muñoz Pérez JJ. Métodos generales de restauración de sistemas dunares. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología. 2011. pp. 641-660.

Ley C. Restauración de dunas: el caso español. In: Rodríguez-Perea A, Pons GX, Roig-Munar FX, Martín-Prieto JA, Mir-Gual M, Cabrera JA, editors. La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa. Societat d'Història Natural de les Balears. 2012; 19:141-157.

Marqués MA, Julià R, Montaner J. Las dunas de la costa norte catalana. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 187-206.

Martín Prieto JA, Rodríguez-Perea, A. Participación vegetal en la construcción de los sistemas dunares litorales de Mallorca. In: Grandal d'Anglade A, Pagès Valvarlos J, editors. Actas de la IV Reunión de Geomorfología. Sociedad Española de Geomorfología, O Castro (A Coruña); 1996. pp. 786-801.

Martínez-Taberner A. La franja dunar de la Badia d'Alcúdia (Mallorca). Estat actual de la màquia de *Juniperus oxycedrus*. *L. macrocarpa*. Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears. 1983;27: 7-22.

Medina JR, Tintoré J, Duarte CM. Las praderas de *Posidonia oceanica* y la regeneración de playas. Revista de Obras Públicas. 2001; 3409:31-43.

McGranahan G, Balk D, Anderson B. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. Environment and Urbanization. 2007;19: 17-37.

Milazzo M, Badalamenti F, Ceccherelli G, Chemello R. Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean): effect of anchor types in different anchoring stages. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2004; 229 (1): 51-62.

Mir-Gual M, Fraga P, Pons GX, Roig-Munar FX, Martín-Prieto JA, Rodríguez-Perea A, Brunet, PJ. Alteracions antròpiques en els boscos de *Pinus halepensis* Mill. dels sistemes dunars de Mallorca. Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears. 2010; 53: 133-152.

Mir-Gual M. Anàlisi, caracterització i dinàmica de les formes erosives blowout en sistemes dunars de Mallorca i Menorca (Illes Balears). M.Sc. Thesis, Universitat de les Illes Balears (UIB). 2014.

Nel R, Campbell EE, Harris L, Hauser L, Shoeman DS, McLachlan A, Preez DR, Bezuidenhout K, Schlacher TA. The status of sandy beach science: Past trends, progress, and possible futures. Stuarine, Coastal and Shelf Science. 2014;150: 1-10.

Nicholls RJ, Hanson S, Herweijer C, Patmore N, Hallegatte S, Corfee-Morlot J, Châteauneuf J, Muir-Wood R. Ranking port cities with high exposure and vulnerability to climate extremes: Exposure estimates. OECD Environment Working Papers. 2008; 1:63.

Nordstrom KF. Beach and dune restoration. Cambridge University Press; 2008.

Olsen S, Tobey J, Kerr M. A common framework for learning from ICM experience. Ocean & Coastal Management. 1997; 37(2):155-174.

Pérez-Alberti A, Vázquez-Paz M. Caracterización y dinámica de sistemas dunares costeros de Galicia. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 161-186.

Pintó J, Martí C, Fraguell RM. Evaluación de los sistemas dunares de la Costa Brava. In: Sardá, R, Pintó J, Valls JF, editors. Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas. Girona: Documenta Universitaria; 2013. pp. 73-86.

Ricketts PJ. State of fear or state of oblivion? What coastal zones are telling us about global change and why we need Integrated Coastal and Ocean Management on a global scale. In: Moksness E, Dahl E, Stottrup J, editors. Integrated Coastal Zone Management; 2009. pp. 1-26.

Rodríguez-Perea A, Servera J, Martín-Prieto JA. Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial continuada: Informe Metadona. Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears; 2000.

Rodríguez-Ramírez A. Las dunas del litoral onubense. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 387-406.

Roig-Munar FX. Análisis de frecuentación del turismo náutico-recreativo del medio marino de la isla de Menorca. Consecuencias ambientales de su falta de regulación. Cuadernos Geográficos. 2003; 33: 61-73.

Roig-Munar FX, Martín-Prieto JA. Efectos de la retirada de bermas vegetales de *Posidonia oceanica* sobre playas de las islas Baleares: consecuencias de la presión turística. Boletín del Instituto de Geografía. 2006;57: pp. 40-52.

Roig-Munar FX, Fraga P, Martín-Prieto JA, Pons GX, Rodríguez Perea, A. Fixació i estabilització de sistemes dunars a les Illes Balears per processos de forestació: el cas de Menorca. Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears. 2009; 52:129-140.

Roig-Munar FX. Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les Illes Balears. M.Sc. Thesis, Universitat de les Illes Balears. 2010. Unpublished.

Roig-Munar FX, Martín-Prieto JA, Rodríguez-Perea A, Mir-Gual M, Pons GX. La gestión ambiental de los sistemas playa-duna: el caso de las Islas Baleares. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 683-700.

Sanjaume E, Pardo JE. Las dunas de las costas valencianas. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 227-262.

Sanjaume E, Pardo JE. Degradación de los sistemas dunares. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 609-640.

Sanjaume E, Gracia FJ, Flor G. Introducción a la geomorfología de sistemas dunares. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 13-65.

Sardá R, Conde R, Casadesús M, Sánchez A, Lozoya JP, Pintó J, Jiménez JA. Erosión en las playas y gestión desintegrada: la problemática actual de la playa de s'Abanell. In: Sardá R, Pintó J, Valls JF,

editors. Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas. Girona: Documenta Universitaria; 2013. pp. 51-72.

Servera J. Els sistemes dunars litorals holocènics: les dunes de sa Ràpita-es Trenc. In: Fornós JJ, editors. Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera); 1998. pp. 251-306.

Servera J, Rodríguez-Perea A, Martín Prieto JA. Las dunas costeras de las Islas Baleares. In: Sanjaume E, Gracia FJ, editors. Las dunas en España. Sociedad Española de Geomorfología; 2011. pp. 307-330.

Schmitt T. Degradació de la vegetació psamòfila litoral de Mallorca. Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears. 1994; 37: 151-174.

Sherman DJ, Bauer BO. Dynamics of beach dune systems. Progress in Physical Geography. 1993;17: 413-447.

Woodroffe CD. Coasts: form, process and evolution. Cambridge University Press. 2002.



CÀTEDRA
D'ECOSISTEMES
LITORALS
MEDITERRANIS



Ajuntament de
Torroella de Montgrí



Grupo Tragsa



Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat



Parc Natural
del Montgrí, les Illes Medes
i el Baix Ter



Museu de la
Mediterrània



Diputació de Girona



Universitat de Girona

Con el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Fundación Biodiversidad