

Los sistemas dunares costeros de Menorca

Guillem X. Pons^{1,2}, José Á. Martín-Prieto¹, Miquel Mir-Gual² y A. Rodríguez-Perea⁴

¹ Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Grup de Recerca BIOGEOMED, Palma.

² Institut Menorquí d'Estudis, IME, Maó.

RESUMEN

Menorca cuenta con una superficie de aproximadamente 700 km² y 369,2 km de costa. De estos 36,7 km se corresponden con playas arenosas o de cantos. Y unos 20,24 km (un 5,5%) es de playas o calas exclusivamente arenosas. Estas playas suponen la base de la actividad turística, que se ha convertido en el principal recurso económico de la isla. Sin embargo, más allá de ser una plataforma para el desarrollo del turismo, las playas son una parte viva de Menorca, una parte dinámica y cambiante que es muy frágil. La UNESCO declaró Menorca como Reserva de la Biosfera el 8 de octubre de 1993. Para ello se tuvo en consideración el alto grado de compatibilidad conseguida entre el desarrollo de las actividades económicas, el consumo de recursos y la conservación del patrimonio y el paisaje; de todo esto, las playas de Menorca son un buen ejemplo. Las praderas de *Posidonia oceanica* constituyen una de las formaciones más características e importantes de la costa menorquina debido a la gran extensión que ocupan ya su papel como bosques submarinos productores de vida, oxígeno, amortiguador del oleaje y de las corrientes, y sedimento que alimenta a esas playas.

Palabras clave: Menorca, sistemas dunares, *Posidonia oceanica*.

ABSTRACT

Menorca has an area of approximately 700 km² and 369.2 km of coastline. Of these 36.7 km correspond to sandy beaches or songs. And about 20.24 km (5.5%) is of beaches or coves exclusively sandy. These beaches are the basis of tourism, which has become the main economic resource of the island. However, beyond being a platform for the development of tourism, beaches are a living part of Menorca, a dynamic and changing part that is very fragile. UNESCO declared Menorca as a Biosphere Reserve on 8 October 1993. This took into consideration the high degree of compatibility achieved between the development of economic activities, the consumption of resources and the conservation of heritage and landscape; Of all this, the beaches of Menorca are a good example. *Posidonia* meadows constitute one of the most characteristic and important formations of the coast of Menorca because of the great extent that they already occupy their role as submarine forests that produce life, oxygen, wave and current absorber, and sediment that feeds those beaches.

Keywords: Menorca, dune systems, *Posidonia oceanica*.

1 | Introducción

Los sistemas dunares costeros son espacios de acumulación de sedimento arenoso que se desarrollan tierra adentro de la mayoría de las playas de las islas Baleares. De hecho deben considerarse como parte de un sistema más complejo, sistema playa-duna, que abarca dos ámbitos diferenciados: un ámbito sumergido, controlado por la hidrodinámica marina, y otro subaéreo cuyo agente de modelado principal es la dinámica eólica. Las dunas litorales constituyen un paisaje ondulado que se extiende desde la playa tierra adentro de forma organizada, y que está formado por unidades individuales de relieve positivo a las que llamamos dunas, y a su conjunto campos dunares. A pesar de que los sistemas dunares pueden analizarse morfológica y dinámicamente de forma independiente, su existencia, estructura y su equilibrio no pueden desligarse de la playa, incluyendo la playa sumergida, ni tampoco del contexto medioambiental en que se formaron y han ido evolucionando (Servera *et al.*, 2007).

El masivo desarrollo de infraestructura turística y urbanística en la zona litoral de las Islas Baleares ha conducido a una paulatina destrucción y desgaste del paisaje litoral. Pero sin duda, han sido las costas arenosas y sus sistemas dunares, con ecosistemas altamente especializados, son los que se han visto más afectados. Estos espacios vitales, han sufrido una reducción de su superficie debido fundamentalmente a desarrollos urbanísticos promovidos por la actividad turística y una falta de gestión adecuada (Curr *et al.*, 2000; Williams y Morgan, 1995). Esta presión urbanística y la permanente y creciente presión de los visitantes son las causas directas de la regresión de los ecosistemas dunares. Especialmente la carga provocada por el continuo pisoteo de visitantes que han provocado la fragmentación del sistema dunar gracias a la eliminación de la cobertura vegetal (Schmitt, 1994; Roig-Munar *et al.*, 2012) y con la consecuente aparición de formas erosivas blowout (Mir-Gual y Pons, 2011).

Las Islas Baleares, así como otros destinos turísticos clásicos de sol y playa, la ocupación del litoral por parte del hombre, durante las últimas décadas, ha sido de carácter masivo, rápido y acultural (Cerdà, 2002). Como consecuencia se ha dado un proceso de '*litoralización*' acelerado, que en algunos casos ha dado lugar a la pérdida de identidad de estos espacios (González, 2003, Roig-Munar, 2003). En muchas ocasiones estas ocupaciones han dado lugar a la interrupción de estrategias y mecanismos naturales de defensa que han impedido el buen funcionamiento de los ecosistemas arenosos, como los sistemas playa-duna (Brown y McLachlan, 1990). Este proceso ha modificado notablemente el paisaje, cambiando las características naturales y los usos tradicionales del litoral, ya sea de forma intencionada o no. Además, este cambio ha sido imprevisto, en la medida que al comenzar el desarrollo turístico no se concibió que el espacio ofertado -las playas y las dunas- fueran espacios frágiles y dinámicos, susceptibles a una rápida degradación. En este sentido, Nordstrom y Mitteager (2001) mencionan la acción del hombre sobre el medio litoral como una acción aberrante, reclamando que las acciones se realicen de forma integral y no como intromisión en el medio. Bejarano *et al.* (1997) mencionan que las agresiones sobre el litoral se encuentran disfrazadas como "factores socioeconómicos" que han permitido la ruptura de sistemas y ámbitos de riqueza natural. Además de la degradación natural como ecosistema y como paisaje, por la ocupación directa de la costa, en muchas ocasiones se ha provocado una alteración de la dinámica litoral, que no se circunscribe exclusivamente al espacio ocupado físicamente. Algunas de estas actuaciones de transformación, que desvirtúan el carácter del litoral, y que a veces lo degradan completamente e irreversiblemente, han acabado provocando, a menudo, la dependencia del litoral arenoso de procesos de regeneración artificial (Rodríguez-Perea *et al.*, 2000), concibiendo un espacio intensamente dinámico como un espacio estático (Jiménez y Valdemoro, 2003).

Los espacios litorales son espacios públicos de bajo coste. Se puede decir que son los espacios públicos más extensos que ofrecen los municipios costeros. Son referentes importantes en el proceso productivo a nivel local, regional y estatal, y constituyen el fundamento más sólido de la oferta turística. Paradójicamente, siendo las playas tan provechosas y complejas, tan valoradas y solicitadas, su gestión está basada en un concepto estrictamente económico, mecánico y estático del espacio, en el que se obvia su dinamismo y su fragilidad, entendiéndolas simplemente como espacios con una gran potencia de recaudación económica a los que se presta atención sólo durante la temporada alta de máximo uso (Yepes *et al.*, 1999; Iribas, 2002, Roig-

Munar, 2003). Las transformaciones sobre el medio han sido incorporadas para llegar a la calidad litoral entendida por los clientes como la idoneidad o adecuación para el uso, y que en muchas ocasiones tiende simplemente a satisfacer las demandas de los usuarios de playas para hacer de estas, bienes naturales funcionales o de servicios.

Yepes y Medina (1997) indican que la gestión turística del litoral equivale al conjunto de acciones encaminadas a la consecución de determinados fines turísticos en el ámbito costero mediante la combinación, la distribución y la disposición de los recursos materiales y humanos, la guía, la coordinación y la motivación de los diferentes agentes implicados y la evaluación de los efectos en función de los objetivos fijados, los cuales deben tener presente a la hora de la planificación de nuevos espacios litorales, como las regeneraciones artificiales (Gallofrer *et al.*, 1997). Estos autores entienden que la gestión y la ordenación turística del litoral implican la planificación, organización, dirección y control de los recursos costeros para conseguir unos objetivos claramente turísticos y económicos. Consideran que el espacio es un servicio y no un sistema natural sobre el que se pueden encontrar determinados servicios. Es justamente esta capacidad de satisfacer necesidades empresariales, políticas y sociales que ha transformado los atributos de la naturaleza litoral en un recurso económico, convirtiendo estos espacios en algo subjetivo, relativo y funcional (Roig-Munar, 2003).

El espacio litoral se encuentra limitado y sujeto a usos que en algunos casos son contraproducentes para la estabilidad del sistema. La confluencia de diferentes intereses ha constituido la principal preocupación de los poderes públicos y privados, así como de los distintos profesionales que estudian ese ecosistema. El valor ambiental y paisajístico de las playas, se mire como se mire, es innegable. De todos los medios terrestres, las zonas costeras constituyen uno de los ámbitos de estudio más atractivos desde la perspectiva geográfica, siendo el litoral una frontera por antonomasia (Pardo y Rosselló, 2001). Sin entrar en los detalles de sus complejidades geomorfológicas con otros espacios limítrofes, el litoral se presenta como un espacio de elevado interés. Pero para una correcta comprensión del medio no se puede dejar de lado, prácticamente en ningún caso, el hombre. El factor humano es una de las piezas básicas para entender su funcionamiento así como sus desequilibrios. Esto es así por el aumento en su capacidad de influencia humana, que la ha convertido en uno de los agentes más decisivos y efectivos en las modificaciones de la morfología y del funcionamiento litoral, y porque el litoral ha pasado a ser de una zona sin importancia económica hasta mediados de siglo XX, a un bien con alta estima social y económica.

A finales del siglo XVIII las zonas litorales eran todavía espacios hostiles e inhóspitos, a la vez que peligrosos para la población, hecho que queda manifestado con los pocos núcleos urbanos asociados al litoral, muchos de ellos amurallados, situación aún más evidente y agravada en los territorios insulares. Antes del período turístico actual, que se fundamenta principalmente en la explotación litoral de los sistemas playa-duna como espacio de ocio (Valdemoro y Jiménez, 2006), el litoral mantenía un dinamismo natural y equilibrado que suponía en algunos lugares costeros un peligro para la población y para los cultivos, debido al avance de las dunas hacia las zonas internas. A fin de evitar el avance de morfologías dunares se empiezan a realizar tareas de forestación para la fijación de sistemas dunares (Mayol, 2006; Roig-Munar *et al.*, 2009). En general, su objetivo es evitar que los frentes dunares afecten de manera negativa a zonas de interés por la actividad humana, como tierras de interés agrario o núcleos de población (Ranwell y Boar, 1986). A su vez, estas

actuaciones están reconocidas como uno de los impactos negativos en la conservación de estos ambientes. En este sentido la costa también se vio afectada por procesos de fijación de masas forestales de las cuencas de drenado, reduciendo de forma considerable la aportación de material sedimentario que quedó retenido por el incremento de las tasas de fijación de suelo (Vizcaíno, 2001). En las últimas décadas el litoral se presenta como el motor del desarrollo territorial que se da en su parte emergida (Lechuga, 1999). A este valor ambiental debemos superponer las industrias turísticas, no siempre en consonancia con la protección y evolución del medio litoral. En la mayoría de los países turístico litorales la disponibilidad de playas en condiciones óptimas es primordial, ya que representan la infraestructura básica de la economía, adquiriendo un importante valor económico y geopolítico.

Dentro del marco de gestiones de playas éstas han tenido como prioridad la estabilización de playas para su explotación, aunque estas se han visto afectadas de forma regresiva para actuaciones de extracciones de áridos en sus cuencas (Vizcaíno, 2001) y la creación de presas hidráulicas (Bird, 2000). La respuesta tradicional de la ingeniería para hacer frente a la erosión costera y la defensa de la misma ha sido la de mitigar los efectos erosivos, y cuando ha sido posible, prevenir la erosión por diferentes métodos (Hanson *et al.*, 2002; Hamm *et al.*, 2002). Muchas de estas actuaciones han sido atribuibles al estado de degradación derivado de una mala gestión y planificación.

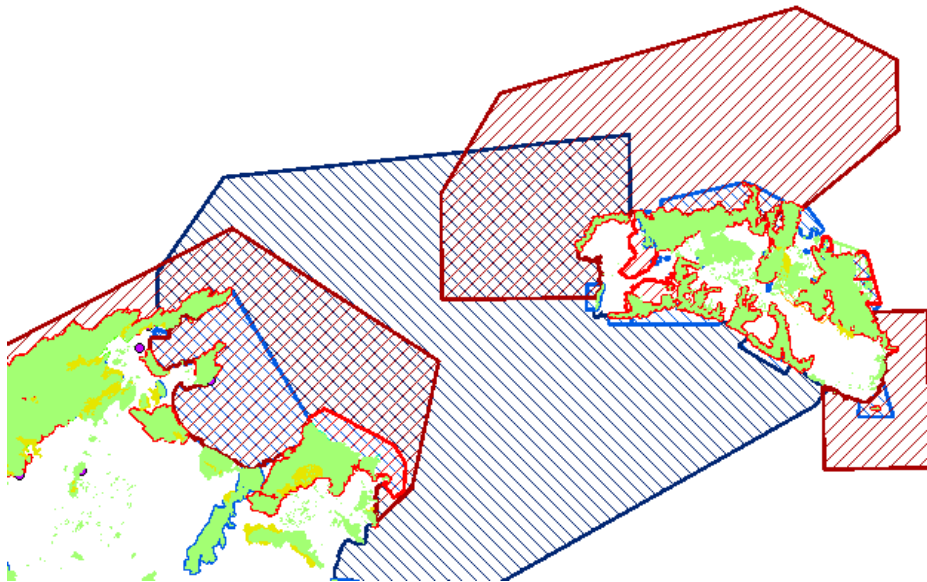


Figura 1. Cartografía de las zonas protegidas de Menorca y norte de Mallorca, en azul zonas LIC, áreas en rojo zonas ZEPAS, Verde zonas ANEI (Áreas Naturales de Especial Interés, una figura propia de protección derivada de la normativa autonómica). Visor IDEIB.

Figure 1. Cartography of the protected areas of Menorca and northern Mallorca, in blue LIC zones, in red ZEPAS'areas, green zones ANEI (Natural Areas of Special Interest, a figure of protection derived from the autonomic regulations). IDEIB Viewer.

2 | Las playas y las calas de Menorca

La UNESCO declaró Menorca como reserva de biosfera el 8 de octubre de 1993, atendiendo al alto grado de compatibilidad conseguido entre el desarrollo de las actividades económicas, el consumo de recursos y la conservación de un patrimonio y de un paisaje que ha mantenido, y sigue manteniendo hoy, una calidad excepcional. Menorca es un territorio intensamente humanizado, con un paisaje rural tradicional muy rico. Aloja una notable diversidad de hábitats mediterráneos, en los que viven especies de animales y plantas endémicas, exclusivas de la isla, algunas de ellas en peligro de extinción.

Las zonas litorales y los ecosistemas marinos son áreas que cuentan, en general, con alguna figura de protección (Fig. 1). Menorca cuenta con un parque natural, s'Albufera des Grau, illa den Colom y cap de Favàritx creado en 1995 y ampliado el 2003 (decreto 51/2003, de 16 de mayo, de ampliación del Parque natural de s'Albufera des Grau y de declaración de las Reservas naturales de las islas des Porros, s'Estany, la bassa de Morella, es Prat y la illa d'en Colom). Cuenta en la actualidad con 5.066,95 hectáreas protegidas (1.735,50 hectáreas marinas y 3.331,46 hectáreas terrestres) y es el núcleo de la Reserva de la Biosfera.

En el conjunto de las Islas Baleares hay unas 322 calas o playas. Algunas de ellas, en general las más energéticas o relacionadas con desprendimientos de acantilados, están formadas por cantos rodados. Pero, la gran mayoría son partes terminales de torrentes que acumulan arena y conforman las calas. Unas pocas conforman los verdaderos sistemas playa-duna. Así, de esta última tipología se han descrito un total de 28 campos de dunas que se extienden sobre unas 3.500 ha (Servera *et al.*, 2007).



Figura 2. Playa de Son Bou (Alaior) que cierra una zona húmeda producto de la desembocadura de distintos barrancos es la playa más larga de Menorca.

Figure 2. Son Bou beach (Alaior), the longest beach in Menorca, closes a wet zone where different streams discharge.



Figura 3. Pequeña playa en el islote del Lazareto, dentro del puerto de Maó.

Figure 3. Small beach on the islet of Lazareto, inside the port of Maó.

Estos sistemas se sitúan en la mayoría de los entrantes costeros y a favor de los vientos dominantes que provienen del N y W en invierno, y del S y en régimen de brisas, durante el verano. La ausencia de marea y las extensas praderas de fanerógamas marinas (*Posidonia oceanica*) caracterizan la dinámica litoral de las Baleares.

Según Balaguer *et al.* (2015), utilizando cartografía 1:5000 del Govern de les Illes Balears, Menorca cuenta con unos 369,2 km de costa. De estos 36,7 km se corresponden con playas arenosas o de cantos. Y unos 20,24 km (un 5,5%) es de playas o calas exclusivamente arenosas. En total se podría hablar de unas 119 playas o calas, la mayoría de ellas de pocas dimensiones, y sin conformar sistemas dunares asociados. Las mayores longitudes de playa las encontramos en el sur de Menorca: Son Bou (Alaior), con unos 2.300 m (Fig. 2); Binigaus (es Migjorn Gran) con 1040 m; Santo Tomàs (es Migjorn Gran) con 750 m y Sant Adeodat (es Migjorn Gran) con 490 m. En el norte, s'Arenal den Castell (es Mercadal) con 650 m, es Grau (Maó) con 590 m o Tirant (es Mercadal) con 570 m serían las excepciones, las otras no superan los 500 m. El resto son calas pequeñas o muy pequeñas, pocas llegan a 150 m. Algunas playas de islotes o de pocas dimensiones tampoco se suelen tener en cuenta (Fig. 3).

Pocas de ellas desarrollan un sistema playa-duna, aunque sea incipiente. Estas fueron definidas por Servera y Estrany (2002) y posteriormente Roig-Munar *et al.* (2012) realizan un análisis espacio-temporal (1956-2004), en base a variables ambientales de uso y gestión (Figs. 4 y 5, Tabla 1).

La tipología de playas de Menorca, y por tanto también a esos sistemas playa-duna, tradicionalmente se ha dividido en tres grupos (Juaneda y Roig, 2002): tipo A (urbanas) (Fig. 6), tipo B (vírgenes con buena accesibilidad rodada y peatonal, sin ser-

Figura 4. (página siguiente) Playas que desarrollan sistemas dunares, aunque algunos sean de forma incipiente o muy reducidos según Roig-Munar *et al.* (2012).

Figure 4. (next pages) Beaches that develop dune systems, although some are incipient or very reduced according to Roig-Munar *et al.* (2012).

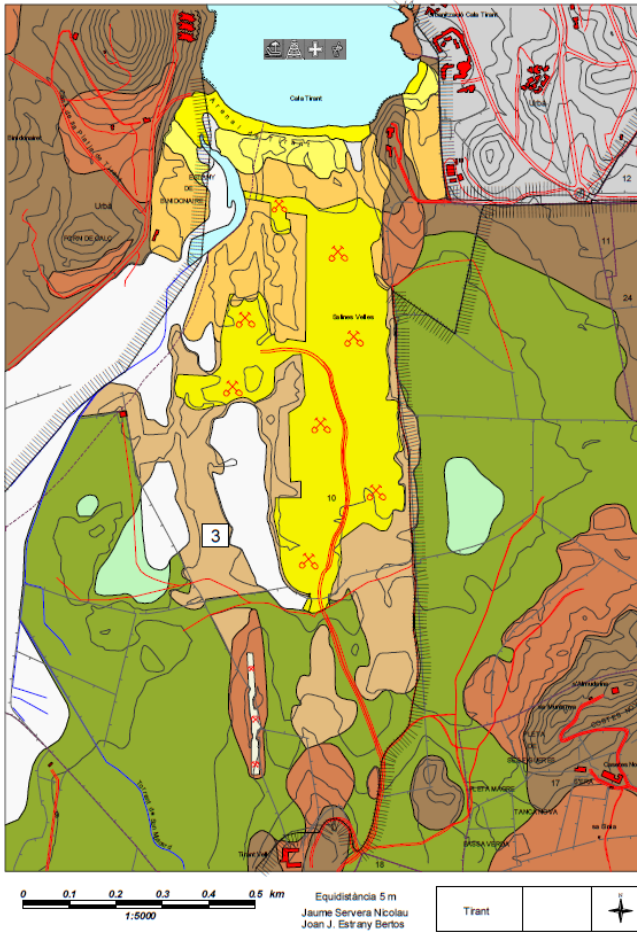


Figura 5. Sistema playa-duna de Cala Tirant según Servera y Estrany (2002).
Figure 5. Beach-dune system of Cala Tirant according to Servera and Estrany (2002).

Sistemas de tipología A	Sistemas de tipología B	Sistemas de tipología C
Arenal d'en Castell	Binimel·là	Cala Pilar
Cala Blanca	Cavalleria	Escorxada
Punta Prima	Es Bot	Morella
Sant Adeodato	Es Grau	Presili
Sant Tomàs	Es Tancats	S'Enclusa
Son Bou, zona A	Macarelleta	Tamarells
S'Olla (Son Saura N)	Mesquida	Torreta
	Mitjana	Trebalúger
	Pregonda	
	S'Alairó (Pregondó)	
	Son Bou, zona B	
	Son Saura Sud	
	Tirant	

Tabla 1. Playas y calas con sistemas playa-duna, algunos muy reducidos o incipientes y su clasificación según su tipología.

Table 1. Beaches and coves with beach-dune systems, some very small or incipient and their type classification.

servicios turísticos o de ocio y con un alto grado de frecuentación) (Fig. 7) y tipo C (el resto, con poca o nula frecuentación y sin acceso rodado) (Fig. 8). Todo y su aceptación general sería necesaria una revisión de esa clasificación puesto que playas de tipo C, se ven sujetas a una elevada frecuentación por vía marítima, con barcas privadas o de excursiones que llegan a saturar dichas playas, en ocasiones, con incluso más frecuentación que playas del tipo A. La publicitación ha sido un gran desencadenante de la necesidad del turista para visitar las playas vírgenes (tipo B y C) también por vía terrestre. En las áreas de acceso a playas del tipo B habilitadas como aparcamiento, por la mañana, bien temprano, ya se da la saturación, creando problemas de tráfico, e incluso seguridad vial y conflictos con las fincas adyacentes en busca de aparcamiento -invadiendo una propiedad privada- y problemas de seguridad-puesto de información, incluso de agresiones de turistas que no consiguen aparcar.

Figura 6. S'Arenal den Castell (es Mercadal), playa urbana del tipo A.
Figure 6. S'Arenal den Castell (es Mercadal), urban beach type A.

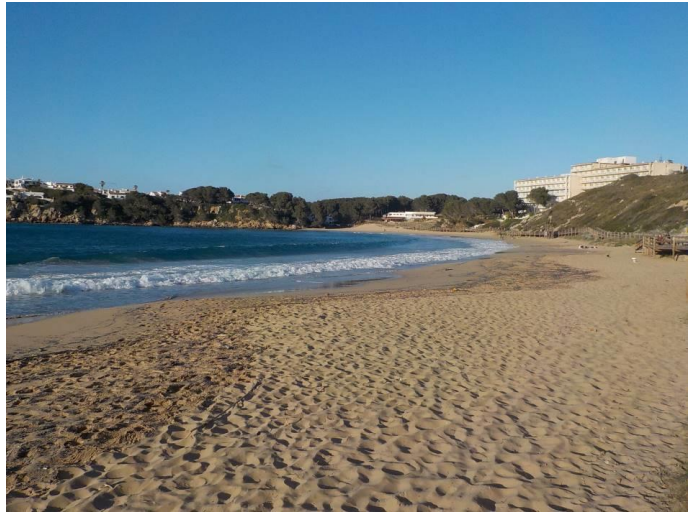


Figura 7. Cala Pregonda (es Mercadal), playa de tipo B.
Figure 7. Cala Pregonda (es Mercadal), beach type B.





Figura 8. Cala Escorxada (es Migjorn Gran), playa de tipo C.

Figure 8. Cala Escorxada (es Migjorn Gran), beach type C.

Tal como indica Servera (2003), Menorca mayoritariamente presenta una línea de costa de tipo acantilado, poco adecuada a la formación de ambientes de playa o de cala. No obstante, en cada uno de los lugares del litoral en que se dan las condiciones topográficas adecuadas en la transición del ámbito sumergido al ámbito subaéreo y existe la disponibilidad de sedimento arenoso, encontramos formaciones de playas o cala, y en algunas ocasiones desarrollo de sistemas de playa-duna (Fig. 9). En este sentido son numerosos, aunque pequeños, los entrantes de mar hacia tierra que en la su parte más profunda presentan este tipo de litoral. Los sistemas playa-duna litorales son ambientes muy dinámicos, donde se dan variaciones de las formas a diferente escala temporal. Así pues, estos ambientes presentan cambios muy rápidos, en cuestión de horas, como los movimientos de las barras arenosas de la playa sumergida, y cambios lentos, milenarios, como la ampliación o reducción del campo de dunas. Todos estos procesos que implican una dinámica de sistema, responden a estrategias naturales que tienen como única finalidad el equilibrio o la estabilidad de la línea de costa. Estabilidad que podemos entender o asumir como un balance sedimentario cero, donde las pérdidas de sedimento se compensan con las entradas en el sistema. Pese a todo, la variabilidad de los diferentes agentes que intervienen a corto y medio plazo y de los factores a largo plazo, hacen que la búsqueda del equilibrio y estabilidad de la línea de costa sea permanente y que la dinámica de los sistemas lleve a una persistente adaptación sincrónica de todas sus formas en cada variación ambiental, por sutil que sea esta. Pese a todo y en última instancia, dentro del complejo dinamismo de estos ambientes litorales, la existencia y las características definitorias de los sistemas playa-duna actuales están ligados a un factor clave, el nivel relativo del mar. A medio o a largo plazo el comportamiento regresivo o transgresivo del mar marca una pauta muy importante en el balance sedimentario de estos litorales. Una variación de signo regresivo favorece un excedente de sedimento en la parte emergida del sistema, ya que progresivamente quedan al descubierto los contingentes que conforman la playa sumergida. Son en estos cambios en la tendencia

Figura 9. (página siguiente) Mapa con las playas y calas de Menorca.

Figure 9. (next page) Map with the beaches and calas of Menorca.

regresiva cuando la dinámica eólica construye las formas dunares. Con una tendencia opuesta, con una variación de signo transgresivo, se produce un déficit de sedimento en la parte sumergida del sistema. En estas circunstancias se ocasiona el retorno del sedimento depositado en las dunas hacia la zona de playa sumergida. En el sentido que anteriormente hemos expuesto, los sistemas playa-duna constituyen los ambientes sedimentarios que con el tiempo y ligados a cambios importantes en los factores ambientales que los determinan, pueden dar lugar a depósitos antiguos de eolianitas. Depósitos que son el resultado de la progresiva paralización de los campos de dunas y posterior litificación como excedentes sedimentarios en las fases regresivas en los períodos glaciales. Ahora bien, no necesariamente necesitamos tener oscilaciones del nivel del mar como las producidas por un período glacial para tener la construcción de edificios dunares que en algunas ocasiones presentan restos fósiles (ver Vicens y Pons, 2017). Tal como sucede en los sistemas playa-duna actuales, estos han sido el resultado de las regresiones y transgresiones del nivel del mar ocurridas por las pulsaciones y oscilaciones climáticas del Holoceno. Es más, la presencia de diferentes generaciones de depósitos en los campos dunares actuales se debe a que ninguna trasgresión del nivel del mar provocada por las pulsaciones más recientes, ha superado el nivel alcanzado en el máximo flandriense, hace unos 6.000 años. Esto implica que cuanto más reciente ha sido la oscilación, menor magnitud ha presentado, lo que ha permitido el acoplamiento en horizontal de las diferentes generaciones de dunas que encontramos construidas. El sedimento de los sistemas playa-duna de Menorca Los ambientes de deposición playa-duna de Menorca, igual que pasa en el resto de las islas Baleares, no difieren excesivamente de la morfogénesis y morfodinámica que caracteriza al resto de ambientes similares del Mediterráneo, incluso del resto del mundo. Tal vez, la diferencia más importante sea el origen del sedimento que los compone, ya que normalmente en este tipo de sistemas litorales la fuente de alimentación suelen ser los contingentes de sedimento alóctonos (litoclastos) que vierten las redes fluviales a la costa o los que el mar trabaja por desmantelamiento de acantilados de materiales cohesionados; no obstante, en las islas Baleares la principal fuente de sedimento viene de la producción biogénica in situ (bioclastos).

Una de las características de las playas y dunas de las Baleares que las distinguen de playas de la península ibérica es la composición de sus arenas. Éstas son mayoritariamente de origen bioclástico –restos esqueléticos de organismos marinos– (87% en promedio para Mallorca) (Jaume y Fornós, 1992, Gómez-Pujol *et al.*, 2000), con una escasa aportación de los litoclastos –partículas arenosas de características no biológicas–. Gómez-Pujol *et al.* (2013; 2017 en este volumen) analizan detalladamente la composición del sedimento de las playas de Menorca. Tal como indican estos autores, la composición media de las playas de Menorca de bioclastos es 78,3%. No obstante, la proporción de bioclastos varía de una playa a otra y de un dominio geomórfico a otro. Oscilando del 9 al 99,4% su contribución al volumen de sedimento (Gómez-Pujol *et al.*, 2013; 2017).

3 | Historia de los sistema dunares costeros

A pesar de que la mayoría de análisis empiezan desde que se cuenta con fotografía aérea (1956), como elemento pre-turístico del litoral, hay otros datos históricos que

nos permiten comprobar que ese espacio de playa ha sido utilizado (y modificado). Los documentos de planificación regional y sectorial y los archivos de imágenes y sonido (fotografía y películas) han ayudado a ampliar ese aspecto de análisis temporal.

Los procesos de fijación de dunas mediante actuaciones de forestación están recogidos en abundante bibliografía tanto en el ámbito estatal como en el internacional (Valls, 1870; Artigas, 1887, 1889; Anónimo, 1890; Artigas, 1890, 1896; De Castro, 1900a, 1900b; Codorniu, 1908; Tiismann, 1924; Whitehead, 1964; Ranwell y Boar, 1986; Gadgil y Ede, 1998; Cata y Pontee, 1998; Hilton *et al.*, 2000; Lemauviel y Roze, 2000; Pausas *et al.*, 2004; Hilton, 2006; Mayol, 2006). En general, su objetivo es evitar que los frentes dunares afecten de manera negativa a zonas de interés para la actividad humana, como suelos de interés agrario o núcleos de población (Ranwell y Boar, 1986; Gadgil y Ede, 1998). A la vez, estas actuaciones están reconocidas como uno de los impactos negativos en la conservación de estos ambientes (Ranwell y Boar, 1986; Gallego Fernández *et al.*, 2003).

A finales del s. XVIII las zonas litorales eran aún espacios hostiles e inhóspitos, a la vez que peligrosos para la población, lo que queda manifestado con los pocos núcleos urbanos asociados al litoral, mucho de ellos amurallados. Una situación aún más evidente y agravada en los territorios insulares (Grove y Rackham, 2003).

Antes del período turístico actual, que se basa principalmente en la explotación litoral de los sistemas playa-duna como espacio de ocio (Valdemoro y Jiménez, 2006), se mantenía un dinamismo natural y equilibrado en estos que suponía en algunos lugares de la cuesta un peligro para la población y para los cultivos, debido al avance de las dunas hacia las zonas internas. Según Madariaga (1909) en determinados puntos de la costa existían grandes superficies ocupadas por arenales que avanzaban tierra adentro conquistando terrenos fértiles, haciéndolos improductivos y enterrando viviendas y poblaciones enteras. El autor cita que en casos de terrenos productivos afectados por arenas voladoras no queda más opción que la forestación para retener y estabilizar terrenos arenosos móviles hasta el cubrimiento definitivo de las arenas, volviendo estos espacios o campos de desolación en fuentes de riqueza y hermosura.

Es a partir de 1902 que se utiliza el arbolado como medida eficaz para evitar el avance de la arena en el ámbito estatal, donde el cuerpo de ingenieros forestales asume gran parte de estas tareas de fijación mediante proyectos ejecutivos a lo largo de toda la costa española (Figueras, 1981). Dentro de estos proyectos destacan las forestaciones de los sistemas dunares de la bahía de Roses, Alt Empordà (Cataluña), donde se estabiliza las dunas provenientes del Montgrí (Artigas, 1887; 1889). Las de las dunas de la zona de Andalucía que también fueron objeto de estabilización, como las de Huelva (Maceira 1890) y Cádiz (Fernández de Castro, 1917), las de Guardamar (Mira, 1903, Codorniu, 1908) a la provincia de Alicante o las del País Vasco (Uriarte Ayo, 1998). En el caso de las Islas Baleares, Mayol (2006) aporta la primera referencia de forestaciones referente al Proyecto de correcciones de dunas de las isla de Formentera, con fecha del año 1944, donde se utilizan diferentes técnicas de fijación con el uso de *Amophila arenaria* y *Ampelodesmos mauritanica*, como herbáceas, y el uso de vegetación de porte arbóreo con *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* y plantaciones puntuales de cipreses (*Cupressus* sp.), tamarindos (*Tamarix* sp. pl.), palmeras (*Phoenix dactylifera*) y ricino (*Ricinus communis*). Estas tareas de fijación dirigidas por la escuela española de forestales no se centraron sólo en territorio español, sino que

también realizaron tareas de forestación en las zonas de protectorado, como es el caso de la zona de Tetuán (Marruecos), donde los campos de dunas invadían las nuevas zonas urbanas y agrarias, así como las infraestructuras viarias (Cantarino y Seva, 1997).

Según Artigas (1890), las arenas pueden avanzar tierra adentro desde metros a más de 14 km, variando su forma debido a la extrema finura de los granos que cubren campos, montes y edificios, convirtiendo los más fértiles terrenos y poblaciones en silenciosos y inhospitalarios desiertos. Estas arenas voladoras en continuo movimiento, según definición del autor, no destrozan ni ofenden nada, sólo modifican, ya que las hojas de los árboles están todavía verdes antes de desaparecer bajo la arena. Para desarrollar las tareas encaminadas a la consolidación de los arenales, Artigas (1890) propone el seguimiento de diferentes etapas como:

- Levantamiento de un plano y amojonamiento de las propiedades objeto de repoblación cuando sean del Estado. En caso de propiedades privadas que deseen fijar las arenas lo podrán hacer ajustándose al proyecto aprobado por el estado.

- Creación de cordones de defensa, llamados dunas litorales o contradunas, considerado trabajo indispensable para el buen éxito de las tareas de repoblación y formación de la duna litoral. Las tareas consisten en la fijación, a una distancia de 100 a 200 metros de la mayor altura ordinaria alcanzada por las aguas del mar, con la creación de pantallas de tabloneros en dirección paralela a la línea de costa. Con este método se estima que con un periodo de un año pueden estar cubiertos de sedimento, por lo que se propone levantar los tabloneros para posteriormente replantar sobre la nueva forma no consolidada gramíneas, generalmente barrón (*Ammophila arenaria*), además de la neoformación dunar (las caras de Stos y lee) que habrá sido formada por procesos de interferencia eólica (Savage, 1963; Savage y Woodhouse, 1969).

- Repoblaciones de vegetación de porte arbóreo, ya dentro de la zona interna del sistema condicionado por la nueva duna litoral se repoblará con especies dominantes como *Pinus pinaster* y con plantas protectoras o auxiliares (*Ulex europaeus*, *Genista scoparia*, *Ammophila arenaria*, etc.).

En el caso de Menorca, Roig-Munar *et al.* (2008) hacen una recopilación de información oral de las forestaciones de los sistemas dunares semiestabilizados de las playas de Morella, es Grau y cala de Sa Torreta, las cuales fueron realizadas por la propiedad. A raíz de este último trabajo, basado en la observación, fotografía histórica y fuentes orales, este estudio pretende verificar la posible existencia de otros casos similares en la isla tomando como referencia una caracterización cuantitativa básica de la especie vegetal más habitual por estas actuaciones: *Pinus halepensis*.

Recientemente, se ha podido constatar que una importante parte de los sistemas dunares de Formentera (Mayol, 2006), Menorca (Roig-Munar *et al.*, 2009) y de Mallorca (Mir-Gual *et al.*, 2010, 2011) han sido forestados, básicamente por *Pinus halepensis*, por la mano del hombre.

4 | El papel de las praderas de *Posidonia oceanica*

Un sistema playa-duna se caracteriza por la interacción de dos áreas distintas: la zona sumergida, controlada por los procesos hidrodinámicos y la zona emergida, controlada por la dinámica eólica. Cualquier cambio en alguna de las dos zonas, puede comportar un desequilibrio en el conjunto.

La playa es el sector donde se produce el intercambio sedimentario entre la parte sumergida y emergida o viceversa, así como el sector de transferencia sedimentaria hacia las dunas (Sherman y Bauer, 1993). En los sistemas playa-duna se puede definir un grado de sensibilidad y/o fragilidad morfodinámica mediante tres curvas de sensibilidad: la primera, común en todos los sistemas dunares, es la debilitación, erosión y/o desaparición de los primeros cordones dunares, básicos para la estabilización del perfil natural playa-duna, establecida por Brown y McLachan (1990); la segunda, y aplicada a los sistemas playa-duna de Baleares por Rodríguez-Perea *et al.* (2000), se sitúa sobre las praderas de *Posidonia oceanica* como hábitat productor de sedimento del sistema y estabilizador de la playa sumergida.

La tercera curva de sensibilidad del sistema, definida por Roig-Munar y Martín-Prieto (2004) se establece sobre las bermas acumuladas de *Posidonia oceanica* debido a su importancia como sector de transferencia sedimentaria entre sectores playa-duna, como aporte de materia orgánica entre la playa y las comunidades vegetales de *foredune*, y como elemento amortiguador de la fuerza de los temporales. De este modo podemos diferenciar tres puntos críticos en el grado de sensibilidad y fragilidad del perfil teórico de playa-duna balear, a la vez que tres puntos donde incidir de forma positiva mediante sistemas de gestión geoambientales.

La *Posidonia oceanica* es una fanerógama marina endémica del mar Mediterráneo, de una extraordinaria importancia biológica, que forma extensas praderas en torno a las Islas Baleares, con una superficie de más de 650 km² (hay estudios que sitúan esa superficie hasta los 1000 km²) (Fig. 11). Se trata de la vegetación marina más extendida en fondos litorales entre 0 y 35 m de profundidad, llegando hasta los 43 m en el Parque Nacional marítimo-terrestre del archipiélago de Cabrera, con una dinámi-

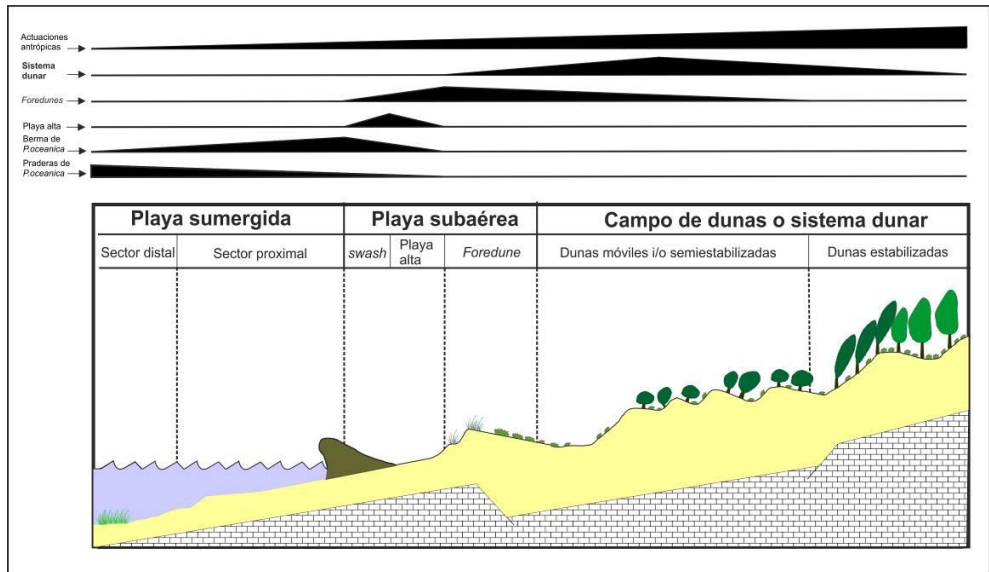


Figura 10. Esquema de un perfil de playa duna, así como las zonas en que las distintas acciones pueden suponer una mayor sensibilidad al sistema (según Mir-Gual *et al.*, 2012).

Figure 10. Schema of a dune beach profile, as well as the areas where the different actions may imply a greater sensitivity to the system (after Mir-Gual *et al.*, 2012).

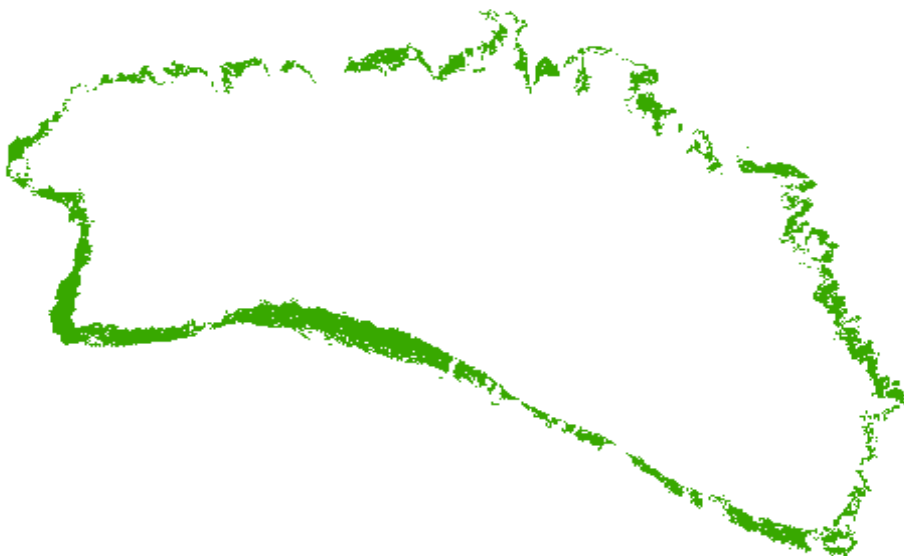


Figura 11. Cartografía marina de las praderas de *Posidonia oceanica* de Menorca. Visor IDEIB.
Figure 11. Marine cartography of the *Posidonia oceanica* meadows around of Menorca. IDEIB.

ca biológica que incluye el desprendimiento anual espontáneo de una gran parte de su biomasa de hojas, que se regeneran de forma natural sin dificultades.

Hay que tener presente que la *Posidonia oceanica*, popularmente conocida como alga, recubre los fondos marinos costeros, y que parte de sus restos flotan y provocan un amortiguamiento del oleaje. Cuando se acumulan en forma de banquetas o bermas, absorben la energía de las olas, minimizan la pérdida de sedimentos mar adentro y constituyen un importante mecanismo natural de protección de las playas, especialmente en invierno y en ocasión de temporales, tanto para la defensa física como por la captura de sedimentos, evitando así el retroceso de la línea de costa. Cabe destacar igualmente el importante papel de las praderas en la retención de sedimentos y nutrientes, así como la oxigenación del agua y la captación de CO₂, por lo que es fundamental conservarlas como elemento mitigador del cambio climático, contribuyendo al mismo tiempo al cumplimiento del Acuerdo de París adoptado el 12 de diciembre de 2015 por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ratificado por el Estado español el 23 de diciembre de 2016 (BOE de 2 de febrero de 2017). Por otra parte, cabe destacar el papel geomorfológico que la *Posidonia* tiene hacia a el estado de conservación y equilibrio sedimentario de los sistemas playa-duna en las Islas Baleares. En primera instancia poner de relieve su papel en tanto a la producción sedimentaria; los restos de los organismos con caparazón calcáreo que viven sobre las hojas son arrastradas y depositadas en las playas, y constituyen una parte importante los sedimentos arenosos del litoral balear. Hay que tener en cuenta que, en el caso de las Islas Baleares, las costas sedimentarias (las playas) son las de mayor presencia y actividad humana; que los restos de *Posidonia* se acumulan con carácter masivo; que la retirada de estos restos en playas naturales o seminaturales no se considera conveniente desde un punto de vista

ambiental para mantener su equilibrio sedimentario. Sin embargo, en determinadas condiciones, puede ser conveniente para los usos balnearios de las playas urbanas, y porque las hojas son objeto de aprovechamientos (especialmente como abono y lecho de ganado, pero también para otros usos, como de apoyo del *puu* (un conjunto de crustáceos que viven entre las hojas) usado como cebo para un tipo de pesca tradicional o como aislante en la construcción tradicional, entre otros).

Tenemos, por tanto, un conjunto de servicios ecosistémicos de una gran variedad y trascendencia, no sólo por su valor como procesos biogeológicos, sino con repercusiones directas en la calidad de vida en las Islas Baleares y la actividad económica local.

Asimismo, cabe mencionar la prioridad de conservación de una de las manifestaciones de la especie más importantes; los arrecifes barrera o de *altina*, los cuales suponen poblamientos litorales que llegan a emerger y constituyen una formación muy singular a la Mediterráneo, la mayor parte de los cuales han sido destruidos o degradados. La preservación de los escasos arrecifes barrera que existen debe ser garantizada. En Menorca son excelentes ejemplos: en la bahía de Addaia (Es Mercadal-Maó), sa Nitja (Es Mercadal) o cala de sa Torreta (Maó) o en zonas como cala Tamarells (Maó) cuentan con unas estructuras bien desarrolladas.

El Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo de la Lista de especies silvestres en régimen de protección especial y del Catálogo Español de Especies amenazadas, incluyó *Posidonia oceanica* en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de protección especial. La inclusión de una especie, subespecie o población en este listado conlleva una serie de prohibiciones genéricas establecidas en la normativa estatal, en concreto en el artículo 57 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del patrimonio natural y de la biodiversidad. La misma ley estatal prevé una serie de excepciones de estas prohibiciones genéricas, excepciones que se aplican con la correspondiente autorización administrativa (artículo 61). Por otra parte, el Real Decreto que la incluye en el Listado prevé explícitamente que las comunidades autónomas puedan reglamentar las operaciones de anclaje de embarcaciones u otros.

La comunidad autónoma en estos momentos está elaborando un Real Decreto de

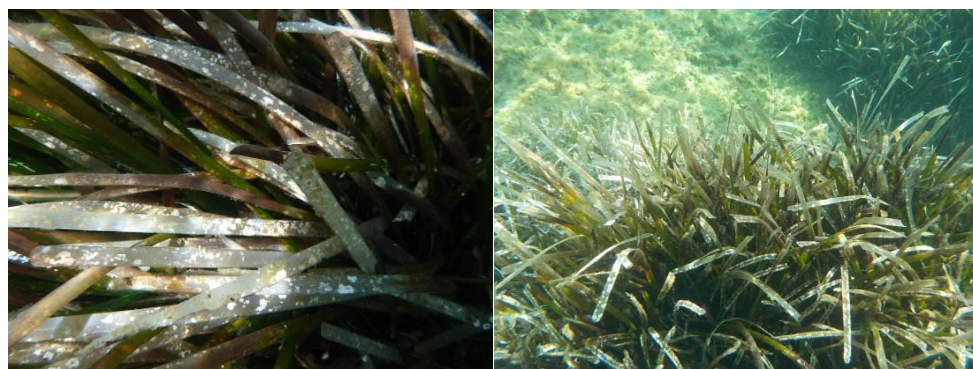


Fig. 12. Detalles de las hojas de *Posidonia oceanica* con epífitos en Cala Pregonda y pradera en s'Arenal d'en Castell.

Fig. 12. Details of *Posidonia oceanica* leaves with epiphytes in Cala Pregonda and meadow in s'Arenal d'en Castell.

protección de la especie, que tiene la base jurídica en la Ley 42/2007, el título preliminar de la que expresan, entre otros, el objeto, los principios y las definiciones. La protección legal de la *Posidonia* como especie silvestre tiene por objeto garantizar su estado de conservación favorable, el cual se define como el estado que se encuentra una especie cuando su dinámica de población indica que sigue y puede seguir constituyendo a largo plazo un elemento vital de los hábitats a los que pertenece; el área de distribución natural no se está reduciendo ni hay amenazas de reducción en un futuro previsible y hay, y probablemente continuará habiendo, un hábitat de extensión suficiente para mantener las sus poblaciones a largo plazo.

Las Islas Baleares es la comunidad autónoma que posee mayor superficie de praderas de *Posidonia oceanica* del Estado, concretamente un 50% del total inventariado, lo que da una idea de su buen estado de conservación. Además, alrededor del 75% de estos se encuentran dentro de áreas incluidas en la Red Natura 2000. La *Posidonia oceanica* es también considerada hábitat prioritario (1120 - Posidonion oceanicae) según la Directiva 92/43 / CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (la llamada Directiva hábitats), lo que supone una especial responsabilidad de la Comunidad Autónoma en cuanto a su conservación. En las Islas Baleares hay precedentes en la protección de estos ecosistemas. Hay de recordar que con la creación del parque marítimo terrestre de Cabrera se protegieron extensas áreas de este hábitat, algunas de las cuales declaradas como zonas de exclusión. Asimismo se instaló el primer campo de boyas ecológicas de amarre del Mediterráneo español. Posteriormente, y vista la eficacia de este sistema, se pusieron en funcionamiento otros campos de boyas en otras zonas del litoral balear, la mayoría de los cuales ligados al proyecto Life *Posidonia*, ejecutado a Baleares con financiación de la Unión Europea.

En estos ambientes los agentes biológicos destacan más por su papel constructivo o de protección del litoral que por su implicación en los procesos de erosión. En el litoral balear cabe destacar las praderas de *Posidonia oceanica*. El conjunto de especies que forman estas praderas sumergidas tienen un papel insustituible en la estabilidad de este tipo de litoral. Algunos autores estiman la producción carbonatada anual neta en 65 g de carbonatos por m² de pradera y año (Canals y Ballesteros, 1997). Si consideramos, las máximas estimas, que la superficie de *Posidonia oceanica* en las Baleares es de unos 1000 km², podríamos hablar de una producción de sedimento de 65.000 toneladas/año. Como es natural buena parte de ese sedimento se queda en la pradería, pero parte también acaba por alimentar las playas.

La retirada de bermas de *Posidonia oceanica* con maquinaria pesada y sin control puede suponer la pérdida importantísima de volumen sedimentario. Datos recogidos en base al análisis de acopios recogidos en las playas de Eivissa reflejan que la cantidad de sedimento que desaparece se sus playas durante los últimos seis años fue de 31.302 Tn (Roig-Munar *et al.*, 2011).

5 | Distribución y clasificación de los sistemas playa-duna de Menorca

Tal como indica Servera (2003) la distribución y clasificación de los sistemas litorales playa-duna de Menorca es un tanto peculiar, explicables a partir de la misma división de la dos comarcas naturales de Tramuntana y Migjorn.



Figura 13. Es Grau.
Figure 13. Es Grau beach.

Centrándonos así en la mitad occidental de la costa de Migjorn, los sistemas que encontramos son de fondo de cala y de pequeñas dimensiones, cuyo desarrollo está sujeto a las propias dimensiones de las calas que los albergan. La mayoría de ellos apenas desarrollan un campo de dunas hacia su interior, quedando limitado a la presencia de la playa y el foredune, y en el mejor de los casos alguna parabólica posterior o un manto eólico tipo sand-sheet.

No obstante, hay honrosas excepciones como es el caso de Cala en Bosc, Son Xoriger y Son Saura que presentan un considerable campo de dunas. Mención aparte merece la playa de Son Bou, en este caso el sistema constituye una barra dunar que cierra una zona de albufera.

En el litoral de la región de Tramuntana la distribución de sistemas playa-duna es más homogénea y, en comparación a la región del Migjorn, estos sistemas presentan unas mayores extensiones. Las especificidades y desarrollo de este conjunto de siste-



Figura 14. Playa y sistema dunar de Cala Tirant (es Mercadal).
Figure 14. Beach and dune system of Cala Tirant (es Mercadal).



Figura 15. Tirant recuperación de la foredune, y crecimiento de vegetación dunar detrás de una barrera de interferencia eólica y *Ammophila arenaria* con la formación de dunas embrionarias o *shadow dunes*.

Figure 15. Tirant recovery of the foredune, and growth of dune vegetation behind a barrier of aeolian interference and *Ammophila arenaria* with the formation of *shadow dunes*.

mas playa-duna del norte de Menorca están sujetas básicamente a dos factores principales (Servera, 1977). Un primer factor, corresponde a su exposición a vientos de componente norte cuya componente presenta la dirección más frecuente y las mayores velocidades, hecho que implica que todos los sistemas presenten una disposición del campo dunar alargada de norte a sur y con penetraciones tierra adentro a distancias considerables desde la línea de costa. El segundo factor corresponde al control que ejerce la notable, aunque no elevada, topografía de la región que nos permite clasificar los sistemas en dos tipologías: una primera, corresponde a los sistemas instalados en valles con relleno sedimentario cuaternario y que a nivel estructural tienen una continuación hacia el mar. Estos sistemas presenta mayores extensiones del campo dunar organizado en cordones paralelos a la playa, más o menos deformados, que en su interior cierran una albufera. De esta tipología podemos destacar los sistemas playa-duna des Grau (Fig. 13), Arenal de Son Saura del Nord, Cala Tirant (Figs. 14 y 15), Binimel·là o Cala Algaiarens

Una segunda tipología, la componen los sistemas instalados en valles sin relleno sedimentario, estrechos y vertientes de inclinación notable. Estos sistemas presentan un campo dunar cuya distribución se adapta al recorrido de los valles. En ocasiones, los depósitos eólicos ascienden lateralmente para llegar a sobresalir de la vaguada. En estas ocasiones encontramos formaciones del tipo *climbing dunes*, *cliff-top dunes* e incluso, cuando hay un trasvase de arena de una vaguada a otra, encontramos dunas del tipo *falling dune*. A esta segunda tipología corresponden el resto de sistemas playa-duna de la región de Tramuntana, aunque destaca por la espectacularidad de las formas remontantes de los sistemas de Cala Presili, de la playa de Mongofre y el de Cala Pilar.

Agradecimientos

Este trabajo se ha visto beneficiado del proyecto de investigación “Crisis y reestructuración de los espacios turísticos del litoral español” (CS02015-64468-P) del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Bibliografía

- Anónimo, (1890): Estudio sobre la fijación de las dunas situadas en el término municipal de Almonte, en la provincia de Huelva. *Revista de Montes*, 14: 281-287,311-318,343-348,367-373,388-397,448-457,472-479,496-502,505-510.
- Artigas, P. (1887): Las dunas de Torroella de Mongrí. *Revista de Montes*. Año XI, núm 257: 489-491.
- Artigas, P. (1889): Dunas procedentes del Golfo de Roses. *Revista de Montes*, 300: 329-331.
- Artigas, P. (1890): *Selvicultura o cría y cultivo de los montes*. Imprenta de Moreno y Rojas. Madrid.
- Artigas, P. (1896): Las dunas del golfo de Rosas. *Revista de Montes*, 20: 536-541, 9-15.
- Baeza, M.J., Pastor, A., Martín, J. y Ibáñez, M. (1991): Mortalidad post-implantación en repoblaciones de *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Ceratonia siliqua* y *Tetraclinis articulata* en la provincia de Alicante. *Studia Oecologica*, 8: 139-146.
- Balaguer, P., Vallespir, J., Vizoso, M., Ruiz, M., Cañellas, B., Fornós y Tintoré, J. (2015): *Atlas de Sensibilitat Ambiental del Litoral de les Illes Balears*. Edición 2015. Palma, SOCIB, Sistema de Observación y Predicción Costero de las Illes Balears.
- Bejarano, R., Tejada, M. y Jurado, J. (1997): Incidencia del actual proceso de intervención territorial en medios costeros de alto valor naturalístico. En: Asociación de Geógrafos Españoles (eds.), *Dinámica Litoral-Interior Vol I.*: 33-44. Universidad de Santiago, Santiago de Compostela.
- Bellot, J., Maestre, F.T., Chirino, E., Hernández, N. y de Urbina, J.A. (2004): Afforestation with *Pinus halepensis* reduces native shrub performance in a Mediterranean semiarid area. *Acta Oecologica*, 25: 7-15.
- Bird, E. (2000): *Coastal Geomorphology, an Introduction*, John Wiley & Sons Ltd, England, 322 pp.
- Brown, A.C. y McLachlan, A., (1990): *Ecology of sandy shores*, Elsevier, Hardbound, 328 pp.
- Cantarino, C.M. y Seva, E. (1997): Transformaciones en el paisaje natural del litoral mediterráneo de Marruecos durante la época del Protectorado español (1912-1956). I: política de desecación de zonas húmedas en la región de Tetuán. En: Ater, M. y Dakki, M. (eds.). *Actes du séminaire sur les marais Smir-Restinga (Maroc): Écologie et propositions d'aménagement (Tetouan, 16-17 mars 1995)*: 69-83. Travaux de l'Institut Scientifique. Memoire hors serie. Rabat.
- Carreras, D., Pons, C. y Canals, A. (2007): *Cartografía digital de l'ocupació del territori de Menorca -2002-*. Memòria final del projecte. OBSAM-IME, 64 pp.
- Cerdà, V. (2002): La gestión integrada de la costa. ¿La última oportunidad?, *Rev. Obras Públicas Ingeniería y Territorio*, 61, 8-15.
- Codorniu, R. (1908): Las dunas de Guardamar. *Revista de Montes*, 754: 445-451.
- Costa, M. y Mansanet, J. (1981): Los ecosistemas dunares levantinos: la dehesa de la Albufera de Valencia. *Anales del Real Jardín Botánico de Madrid*, 37: 277-299.
- Curr, R. H., Koh, A., Edwards, E., Williams, A. T. y Davides, P. (2000): Assessing anthropogenic impact on Mediterranean sand dunes from aerial digital photography. *Journal Coastal Conservation*, 6: 15-22.
- De Castro, A.F. (1900a): Repoblación de dunas. *Revista de Montes*, 559, 561: 225-232, 281-285
- De Castro, A.F. (1900b): Repoblación de dunas. *Revista de Montes*, 565: 395-400.
- De Luis, M., Novak, K., Čufar, K. y Raventós, J. (2009): Size mediated climate-growth relationships in *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. *Trees*, 23: 1065-1073.
- Fernández de Castro, M. (1917): Dunas de la provincia de Cadiz. *Revista de Montes*, 961: 77-85.
- Gadgil, R.L. y Ede, F.J. (1998): Application of scientific principles to sand dune stabilization in New Zealand: past progress and future needs. *Land Degradation & Development*, 9: 131-142.
- Gallego Fernández, J.B., García Mora, R. y Ley Vega de Seoane, C. (2003): Restauración de ecosistemas dunares costeros. En: Rey Benayas, J.M. (ed.). *Restauración de ecosistemas en ambiente mediterráneo*: 157-172. Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Gallofrer, J., Montoya, F.J. y Medina, R. (1997): Regeneración de playas: aspectos a considerar para un diseño funcional. En: *IV Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Vol. III*. 861-874. Grupo de Oceanografía Física, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cádiz, Cádiz.
- Gómez-Pujol, L., Balaguer, P., Mateu, J. y Roig, F. X. (2000): *SEDIPME 2000: Sedimentología de les platges de Menorca*. Institut Menorquí d'Estudis, Consell Insular de Menorca. Inédit, 52 p.

- Gómez-Pujol, L., Roig, F.X., Fornós, J.J., Balaguer, P. y Mateu, J. (2013): Provenance-related characteristics of beach sediments around the island of Menorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 33:195-208.
- Gómez-Pujol, L., Compa, M., Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Balaguer, P., Roig-Munar, F.X., Fornós, J.J., y Tintoré, J. (2017): Las playas de Menorca: naturaleza y distribución. In: Gómez-Pujol, L. y Pons, G.X. (eds.) *Geomorfología litoral de Menorca: dinámica, evolución y prácticas de gestión*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 25 (en este mismo volumen).
- González Paz, J. (2003): La pérdida de espacios de identidad y la construcción de lugares en el espacio turístico de Mallorca, *Boletín de la A.G.E.*, 35, 137-152.
- Grove, A.T. y Rackham, O. (2003): *The nature of Mediterranean Europe. An ecological history*. Yale University Press. New Haven and London.
- Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H., Lechuga, A., Spanhoff, R. y Stiv, M., (2002): A summary of European experience with shore nourishment, *Coastal Engineering*, 47, 237-264.
- Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H.H., Hamm, L., Laustrup, C., Lechuga, A. y Spanhoff, R. (2002): Beach nourishment projects, practices, and objectives—a European overview, *Coastal Engineering*, 47, 81-111.
- Hilton, M.J. (2006): The loss of New Zealand's active dunes and the spread of marram grass (*Ammophila arenaria*). *New Zealand Geographer*, 62: 105-120.
- Hilton, M.J., Macauley, U. y Henderson, R. (2000): *Inventory of New Zealand's active dunelands*. Science for Conservation, 157. Department of Conservation. Wellington.
- Iribas, J.M. (2002): Una perspectiva sociológica sobre las playas, *Obras Públicas Ingeniería y Territorio*, 61, 78-85.
- Jaume, C. y Fornós, J. J. (1992): Composició i textura dels sediments de platja del litoral mallorquí. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 35: 51-61.
- Jiménez, J.A. y Valdemoro, H. (2003): La influencia de la dinámica costera en la explotación turística de playas (I). *Equipamientos y servicios Municipales*, 109, 28-37.
- Juaneda, J. y Roig, F. X. (2002): El pla de neteja integral de l'illa de Menorca com a eina de gestió ambiental. En Geografía y Territorio, el papel del geógrafo a escala local. págs. 43-48. Ed. Bàzquez, M. y Cors, M. Universitat Illes Balears, Palma de Mallorca
- Lechuga, A., (1999): ¿Hay que defender las playas? Una reflexión, *Ingeniería Civil*, 113: 131-136.
- Lemauviel, S. y Roze, F. (2000): Ecological study of pine forest clearings along the French Atlantic sand dunes: Perspectives of restoration. *Acta Oecologica*, 21: 179-192.
- Maceira, A.G. (1890): Estudio sobre la fijación de las dunas situadas en el término municipal de Almonte, en la provincia de Huelva. *Revista de Montes*, 322: 281-510.
- Madariaga, J.A. (1909): *Repoblación forestal. Medios de dar valor a eriales y terrenos pobres*. Madrid. Imprenta Alemana.
- Maestre, F.T. y Cortina, J. (2004): Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? *Forest Ecology and Management*, 198: 303-317.
- Mayol, J. (2006): Un gran projecte de postguerra: La repoblació forestal de les dunes de Formentera. *Eivissa*, 44-45: 9-16.
- Mir-Gual, M. y Pons, G.X. (2011): Coast sandy strip fragmentation of a protected zone in the N of Mallorca (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, SI 64 (1): 1367-1371.
- Mir-Gual, M., Pons, G.X., Perelló, B., Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á. y Rodríguez-Perea, A. (2011). Caracterització i dinàmica del sistema platja-duna d'es Comú de Muro (Badia d'Alcúdia, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 54: 95-116.
- Mir-Gual, M., Fraga, P., Pons, G.X., Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A. y Brunet, P. J. (2010): Alteracions antròpiques en els boscos de *Pinus halepensis* Mill. dels sistemes dunars de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 53: 133-152.
- Mir-Gual, M., Roig-Munar, F.X., Pons, G.X., Martín-Prieto, J.A. y Rodríguez-Perea, A. (2012): Modelo teórico para la definición de curvas de sensibilidad litorales. Comparativa entre los sistemas playa-duna mediterráneos y caribeños. En: González-Díez, A. (edit.). *Avances de la Geomorfología en España 2010-2012. Actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología*: 375-378. Santander, Universidad de Cantabria.
- Mira, F. (1903): Reseña de las dunas de Guardamar. *Revista de Montes*, 635: 862-888.

- Montero, G., Cañellas, I., Ruiz-Peinado, R. (2001): Growth and yield models for *Pinus halepensis* Mill. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, 10: 179-201.
- Nordstrom, K.F. y Mitteager, W.A., (2001): Perceptions of the value of natural and resorted beach and dune characteristics by high school students in New Jersey, USA, *Ocean Coastal Management*, 44, 545-559.
- Oliveras, I., Martínez-Vilalta, J., Jimenez-Ortiz, T., Lledó, M.J., Escarré, A. y Piñol, J. (2003): Hydraulic properties of *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* and *Tetraclinis articulata* in a dune ecosystem of Eastern Spain. *Plant Ecology*, 169: 131-141.
- Ortuño, F. (1990): El plan para la repoblación forestal de España del año 1939. Análisis y comentarios. *Ecología, Fuera de Serie* 1: 373-392.
- Pardo, J.E. y Rosselló, V.M., (2001). El medio litoral en una perspectiva geográfica y aplicada. En: *Los espacios litorales y emergentes. Actas XV Congreso de Geógrafos Españoles*: 15-37. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Pausas, J.G., Bladé, C., Valdecantos, A., Seva, J.P., Fuentes, D., Alloza, J.A., Vilagrosa, A., Bautista, S., Cortina, J. y Vallejo, R. (2004): Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for and old practice – a review. *Plant Ecology*, 171: 209-220.
- Quézel, P. y Médail, F. (2003): *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier. Paris.
- Ranwell, D.S. y Boar, R. (1986): *Coast dune management guide*. Institute of Terrestrial Ecology. University of East Anglia. Norwich.
- Rodríguez-Perea, A., Servera, J. y Martín-Prieto, J.A. (2000): *Alternatives a la dependència de les platges de les Balears de la regeneració artificial: Informe METADONA*, Col·lecció Pedagogia Ambiental, 10. Universitat de les Illes Balears, 110 pp.
- Roig-Munar, F.X. (2003): Identificación de variables útiles para la clasificación y gestión de calas y playas. El caso de la isla de Menorca (I. Balears). *Boletín de la A.G.E.*, 35, 175-190.
- Roig-Munar, F. X. y Martín-Prieto, J. Á. (2004): Efecto de la retirada de bermas vegetales de *Posidonia oceanica* sobre las playas de las Islas Baleares: consecuencias de la presión turística. *Investigaciones Geográficas*, 57: 40-52.
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. A., Rodríguez-Perea, A. y Pons, G. X. (2008): Notes sobre la repoblació dels sistemes dunars de es Grau, Torreta i Morella (parc natural de s'Albufera d'es Grau, Menorca). In: Pons, G.X. (ed.). *V Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*: 333-335. Societat d'Història Natural de les Balears. Palma de Mallorca.
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J.A., Comas-Lamarca, E. y Rodríguez-Perea, A. (2006): Space-time Analysis (1956-2004) of human use and management of the Beach-Dune Systems of Menorca (Balearic Islands, Spain). *Journal Coastal Research*, Special Issue, 48: 107-111.
- Roig-Munar, F.X., Fraga, P., Martín-Prieto, J.Á., Pons, G.X. y Rodríguez-Perea, A. (2009): Fixació i estabilització de sistemes dunars a les Illes Balears per processos de forestació: el cas de Menorca, *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52, 129-140.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Mir-Gual, M., Pons, G.X. y Rodríguez-Perea, A., (2011): Balance sedimentario negativo por la retirada de *Posidonia oceanica* de las playas de Ibiza (Islas Baleares), En: Montoya, I., Rodríguez, I. y Sánchez, M.J. (eds.), *Avances en Geomorfología Litoral. Actas de las VI Jornadas de Geomorfología Litoral*:79-82. Madrid, Univ. Juan Carlos I.
- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A. y Martín-Prieto, J.Á. (2004): Influencia antrópica en la alteración del sistema playaduna de Son Bou (Menorca). En Benito, G. y Díez Herrero, A. (eds.), *Contribuciones Recientes sobre Geomorfología*: 375-384. SEG y CSIC, Madrid,
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Comas, E., y Rodríguez-Perea, A. (2006): Space-time analysis (1956–2004) of human use and management of the beach–dune systems of Menorca (Balearic Islands, Spain). En: Alonso, I. y Cooper, A. (eds.), *Coastal Geomorphology in Spain. Journal of Coastal Research*, SI 48: 107–111.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A., Pons, G.X., Gelabert, B. Y Mir-Gual, M. (2012): Risk assessment of beach–dune system erosion: beach management impacts on the Balearic Islands. *Journal of Coastal Research*, 28(6): 1488-1499.
- Roig-Munar, F.X., Pons, G.X., Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A. y Mir-Gual, M. (2012): Análisis espacio temporal (1956-2004) de los sistemas dunares de Menorca (Islas Baleares)

- mediante variables geoambientales de uso y gestión. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58 : 381-403.
- Savage, R. (1963): Experimental study of dune building with sand fences. En: *Proceedings of the 8th Conference in Coastal Engineering*: 380-396. American Society of Civil Engineers. Nova York.
- Savage, R. y Woodhouse, W.W. (1969): Creation and stabilization of coastal barrier dunes. *Proceedings of the 11th Conference in Coastal Engineering*, 1: 671-700. American Society of Civil Engineers. Nova York.
- Schmitt, T. (1994): Degradació de la vegetació psamofila litoral de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 37: 15-174.
- Servera, J. (1997): *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesis Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 2 Vols.
- Servera, J. (2003): Los sistemas playa-duna holocenos y actuales de Menorca. En: Rosselló, V.M , Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L., (eds.), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 123-138. Palma, AGE, Universitat de València, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Servera, J. y Estrany, J. J. (2002): *Catàleg dels Sistemes Platja-duna de les Illes Balears*. Documento Técnico inédito: 4 Vols. Direcció General de Biodiversitat, Conselleria de Medi Ambient del Govern Balear.
- Servera, J. y Pons, G.X. (2007): Trets mineralògics i texturals de la seqüència dunar holocena de la depressió de Campos (Mallorca). En: Pons, G.X. y Vicens, D. (eds), *Geomorfologia Litoral i Quaternari: homenatge a Joan Cuerda*. Mon. Soc. Hist. Nat, Balears, 14: 353-374. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Servera, J., Rodríguez-Perea, A. y Martín-Prieto, J. A. (2007). Los sistemas playa-duna de las Baleares. En: Fornós, J. J., Ginés, J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Geomorfología litoral: Llevant y Migjorn de Mallorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 15: 61-74. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Sherman, D. J. y Bawer, D. O. (1993): Coastal geomorphology through the looking glass. *Geomorphology*, 7: 225-249.
- Tastet, J.P. y Pontee, N.I. (1998): Morpho-chronology of coastal dunes in Médoc. A new interpretation of Holocene dunes in Southwestern France. *Geomorphology*, 25: 93-109.
- Tiismann, B. (1924): Coastal dunes of Hiiusaare, their stabilisation and forestation. *Tartu Ülikooli Metsaosakonna Toimetised*, 1: 1-95.
- Tsitsoni, T. y Karagiannakidou, V. (2000): Site quality and stand structure in *Pinus halepensis* forests of north Greece. *Forestry*, 73: 51-64.
- Uriarte Ayo, R. (1998): Economías campesinas y explotación forestal en el País Vasco durante el Antiguo Régimen. Zainak. *Cuadernos de Antropología-Etnografía*, 17: 101-110.
- Valdemoro, H.I. y Jiménez, J.A. (2006): The influence of shoreline dynamics on the use and exploitation of Mediterranean tourist beaches. *Coastal Management*, 34: 405-423.
- Valls, A. (1870): Las dunas de la ciudad de San Sebastián, su repoblación y su cultivo. *Revista de Montes*, 3: 89-94.
- Vicens, D. y Pons, G.X. (2017): Registro fósil del Cuaternario litoral de Menorca. En: Gómez-Pujol, L. y Pons, G.X. (eds.) *Geomorfología litoral de Menorca: dinámica, evolución y prácticas de gestión*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 25 (en este mismo volumen).
- Vizcaíno, A. (2001): *Erosión costera en Almería (1957-1995)*. Instituto de Estudios Almerienses, Almería, 550 pp.
- Whitehead, P.S. (1964): Sand dune reclamation in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry*, 9: 146-153.
- Williams, A. T. y Morgan, R. (1995): Beach awards and rating systems. *Shore and Beach*, 63 (4): 29-33
- Yepes, V. y Medina, J.R. (1997): Gestión turística y ordenación de las playas: Una propuesta de balizamiento. En: *IV Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Vol. III*. 903-916. Grupo de Oceanografía Física, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cádiz, Cádiz.
- Yepes, V., Esteban, V. y Serra, J. (1999): Gestión turística de las playas, Aplicabilidad de los modelos de calidad. *Revista de Obras Públicas*, 3385, 25-34.