

Gestión litoral en Menorca: un modelo basado en criterios geomorfológicos

Francesc X. Roig-Munar¹, José Ángel Martín-Prieto², Antonio Rodríguez-Perea² y Pau Balaguer³

¹ Q4atre Consultoria Ambiental, Es Migjorn Gran.

² Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Palma

³ ICTS SOCIB, Sistema de Observación y Predicción Costera de las Islas Baleares (MINECO-CAIB), Palma.

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos con la gestión basada en criterios geomorfológicos sobre los sistemas playa-duna de Menorca. En la última década, éstos demuestran que es necesario gestionar el sistema sin priorizar la demanda, así como aplicar medidas que emulen los procesos naturales. De este modo se obtienen escenarios de recuperación y equilibrio. Así mismo se demuestra que el abandono de las técnicas de gestión basadas en criterios geomorfológicos revierte de forma regresiva la recuperación del sistema, dándose casos de deterioración de sistemas que estaban recuperándose por falta de gestión

Palabras clave: gestión litoral, sistemas playa-duna, Menorca.

ABSTRACT

The results obtained within a coastal management programme based on geomorphological criteria on the beach-dune systems of Menorca are analysed. The results obtained in the last decade demonstrate that it is necessary to manage the system without prioritizing the demand, as well as applying measures emulating the natural processes. In this way recovery and equilibrium processes are obtained.

Keywords: coastal management, beach-dune systems, Menorca.

1 | Introducción

El litoral, las playas, en tanto que producto turístico, se conciben como un espacio que mediante diversas ofertas de ocio persigue la satisfacción de las expectativas del turista, sin que ello suponga el reconocimiento o que se preste atención a las características geoambientales del sistema costero. De hecho, en la mayoría de casos, el litoral se entiende como un simple soporte físico de los equipamientos y de las actividades asociadas a la industria turística. En este contexto la voluntad de satisfacer las necesidades de consumo, la propia demanda y, sobretodo, la oferta turística, ha acabado por banalizar el propio recurso natural, transformando los atributos naturales de las playas a merced de necesidades coyunturales, subjetivas y corto-placistas de la demanda del mercado.

Las playas, en tanto que sistema natural y soporte de las actividades humanas, son un espacio con múltiples dimensiones en las que interactúan agentes y procesos naturales, socioeconómicos y administrativos (Ariza *et al.*, 2008) y en donde las funciones de los sistemas playa-duna son múltiples. Cabe citar su papel como soporte de la diversidad biológica (Nordstrom, 2008), la protección de la costa (Jiménez *et al.*, 2012), sus valores paisajísticos (Pintó *et al.*, 2014) así como la satisfacción de las necesidades turístico-recreativas (Sardà *et al.*, 2013). En este sentido, cualquier sistema de gestión litoral debe tener en cuenta la integración de todas y cada una de las dimensiones y/o funciones físicas y ambientales (Roig-Munar *et al.*, 2012; Balaguer *et al.*, 2011), simultáneamente a los esfuerzos por mantener las características o las dimensiones socio-económicas del sistema (Ariza *et al.*, 2011).

En este contexto y entre las diferentes aproximaciones o esquemas de gestión del litoral, la comprensión del litoral a partir de los modelos de interacción playa-duna aparece como una herramienta de trabajo eficiente y con muchas potencialidades para los gestores litorales, en tanto que ofrece un marco conceptual y una base filosófica que acotan el abanico de las estrategias y acciones que dan respuesta de una forma integrada a las múltiples dimensiones de las playas. Los antecedentes al marco teórico de los sistemas playa-duna hay que buscarlos en las contribuciones de Short y Hesp (1982), quienes estudiaron la interacción playa-duna con énfasis en la morfodinámica y la respuesta a la energía del viento y de las olas. Con posterioridad, los modelos de Psuty (1988, 2004) proporcionaron un punto de partida para identificar las variables más importantes como el suministro de sedimento en el sistema playa-duna y así predecir el comportamiento de la *foredune*. A su vez, Hesp (2002) sintetizaría los modelos de Hesp (1988), Carter (1988) y Arens y Wiersma (1994) en una clasificación morfo-ecológica a partir de los diferentes estados de conservación del primer cordón dunar costero.

Sin embargo, dichos enfoques y tal conocimiento distan mucho de ser utilizados por los agentes implicados o los responsables en la toma de decisiones de gestión y planificación costera (Hesp, 2002). Obviar las interacciones entre la playa y el primer cordón dunar puede resultar una mala gestión litoral, donde los problemas de erosión y sostenibilidad se agravan de forma continuada a lo largo del tiempo y acaban presentando dificultades para mantener el estado natural de los sistemas playa-duna (Rodríguez-Perea *et al.*, 2002; Roig-Munar, 2011). A todo cabe sumar que la creciente demanda de uso de estos espacios públicos en las últimas décadas ha causado problemas adicionales derivados de su gestión, por lo que es esencial incluir la implicación de los usuarios en la conservación de dichos espacios como un factor clave de su planificación y ordenación (Michael *et al.*, 2002; Silva, 2006; Roig-Munar *et al.* 2012).

Menorca es la isla del archipiélago balear que en menor medida ha sufrido los impactos y las transformaciones asociadas a la economía turística. Aprovechando esta circunstancia se implementó a principios del segundo milenio un programa de gestión y limpieza de las playas de Menorca, mancomunado por los diferentes ayuntamientos y gestionado por el Consell Insular de Menorca, que permitió el ensayo de diferentes técnicas y aproximaciones a la gestión litoral bajo el prisma de la conciliación del marco conceptual de los sistemas playa-duna, de sus características morfológicas y ecológicas, y de las vocaciones o potencialidades de carácter turístico-recreativo (Roig *et al.*, 2009). El presente trabajo, pretende detallar los elementos clave del enfoque desarrollado, así como sus principales hitos y un marco metodológico que se caracteriza por ahondar en el esquema de una gestión eficiente, dinámica y adaptativa, en cuanto responde a las características del sistema, su vocación de conservación y potencialidad de uso, a la par que genera un sistema de indicadores que permite tener una radiografía no sólo del grado de conservación y los impactos de los diferentes sistemas playa-duna, sino de la eficiencia del propio modelo de gestión.

2 | Características del litoral de Menorca a efectos de gestión

La situación de las islas Baleares y por extensión de Menorca, en el centro de la cuenca del Mediterráneo occidental, confiere a sus playas unas características propias

y diferenciadas respecto de otros litorales arenosos. Estas son fundamentalmente la ausencia de mareas, la naturaleza de su sedimento y la presencia de *Posidonia oceanica* en sus aguas costeras.

La marea, podemos considerarla inexistente, con un rango que oscila en torno a los 0.3 m (cf. Puertos del Estado), siendo más importante la oscilación del nivel del mar por la influencia de la presión atmosférica. En cuanto al sedimento de las playas menorquinas, la principal característica es su composición, mayoritariamente bioclástico, aunque que con importantes diferencias entre la región del *Migjorn*, donde la componente bioclástica alcanza el 89,1 % del volumen del sedimento, y la región de *Tramuntana*, donde los elementos biogénicos suponen el 71,7 % del sedimento (Gómez-Pujol *et al.*, 2013). La textura, básicamente, arenas de medias a gruesas y su composición mayoritariamente biogénica, apuntan a las praderas de *Posidonia oceanica* como la principal fuente de sedimento y, en menor medida, a la erosión de acantilados, con cantidades variables de material terrígeno (Gómez-Pujol *et al.*, 2013). La ausencia de una red fluvial permanente que aporte sedimento al sistema litoral es otra de las características que contribuyen al escaso peso del material terrígeno. A efectos prácticos, todas estas circunstancias implican una serie de singularidades o especificidades en el modelo de gestión: En primer lugar, un sistema litoral en el que las entradas de sedimento son escasas, puesto que los ritmos de producción de sedimento biogénico son lentos y a escalas que se alejan del marco temporal de los intereses socio-económicos, y por tanto la sensibilidad del sistema y su capacidad de resiliencia es más frágil. En segundo lugar y por otro lado, está el papel de la *Posidonia oceanica*, una fanerógama marina endémica del mar Mediterráneo, que habita preferentemente sobre sustrato blando a una profundidad variable entre -0,1 y -40 m, y que juega un papel fundamental en la morfodinámica litoral. La posidonia se extiende formando amplias praderas y su producción primaria, hojas muertas, rizomas, raíces y epífitos, juegan un papel importante en el equilibrio morfosedimentario del litoral (Boudouresque *et al.*, 2016). Uno de los destinos de sus hojas, es su deposición sobre la playa donde se forma acumulaciones de hojarasca, ribazones o bermas vegetales, “*banquettes*”, a las que se ha atribuido la capacidad de reducir el impacto de las olas sobre la playa (Roig-Munar, 2005; Simeone, 2008; Boudouresque, 2010; Simeone y De Falco, 2013).

Las praderas de posidonia configuran la protección natural de la zona costera ya que sus rizomas fijan el sedimento y dan lugar a estructuras que amortiguan la acción de las olas, aumentando la rugosidad y disminuyendo la profundidad crítica que provoca la modificación y disipación del oleaje (Fonseca y Fisher, 1986). La absorción de las olas puede llegar a ser entre el 30 y 40% de la energía total (Boudouresque *et al.*, 1982). De este modo la tasa de erosión de sedimentos es de entre 4 y 6 veces inferior a la ausencia de esta pradera (Terrados y Duarte, 2000). A su vez conforman el hábitat del ecosistema que constituye la producción neta de sedimento arenoso más importante del litoral Balear (Jaume y Fornós, 1992) y la mayor “fábrica” de carbonatos de la plataforma interna del Mediterráneo (Canals y Ballesteros, 1997; Fornós y Ahr, 1997, 2011). Actualmente, la superficie que ocupa esta fanerógama a lo largo de la costa menorquina es de aproximadamente 81,68 km², un 11,8% de la superficie de la isla (cf. OBSAM). Sin embargo, recientes estudios ponen de manifiesto una regresión de su superficie en el ámbito balear (Marbà *et al.* 2014; Telesca *et al.*, 2015), lo que podría suponer un aspecto negativo sobre el litoral y el recurso natural de las playas.

La isla de Menorca tiene una longitud de 433 km, de los cuales tan sólo el 9 % son costas arenosas (Balaguer *et al.*, en este volumen). En el caso de Menorca, Roig-Munar (2011) afirma que se ha conservado o se mantienen 42 sistemas dunares, el 86% de los sistemas de la isla, de los cuales 6 deben considerarse como parcialmente destruidos debido a la construcción y/o a su uso intensivo.

Los sistemas playa-duna de Menorca presentan cuatro puntos de sensibilidad y/o fragilidad (Fig. 1): el primero de ellos, común a los sistemas dunares continentales, es la alteración, erosión y/o desaparición de los primeros cordones dunares, que resultan básicos para la estabilización del sistema y para dar respuesta morfodinámica a los efectos de los temporales marinos más energéticos (Brown y McLachan, 1990). La segunda zona de mayor sensibilidad, en relación a los sistemas

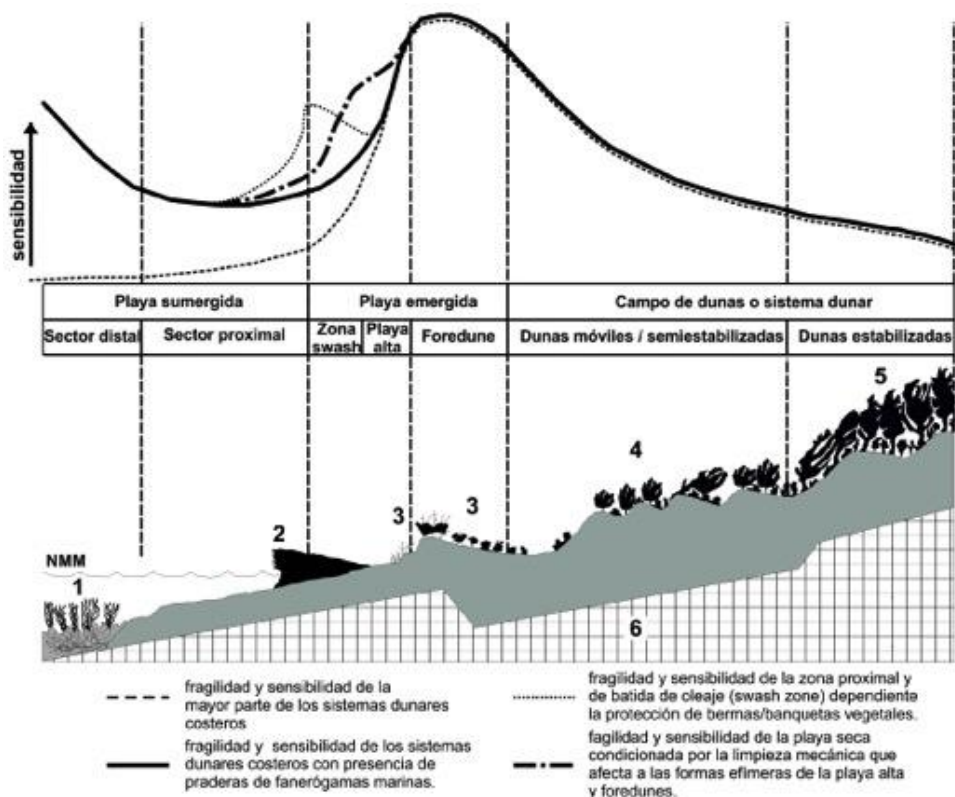


Figura 1. Esquema general de los sistemas dunares litorales y sus diferentes grados de sensibilidad de acuerdo con el área geográfica en que se desarrollan. Según Brown y McLachlan (1990), Rodríguez-Perea *et al.* (2000) y Roig-Munar y Martín-Prieto (2005). 1: praderas de fanerógamas marinas; 2: banquetas/bermas vegetales formadas por *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.

Figure 1. Beach-dune system zonation and sensitiveness. Modified from Brown y McLachlan (1990), Rodríguez-Perea *et al.* (2000) y Roig-Munar y Martín-Prieto (2005). 1: seagrass meadows; 2: *P. oceanica* seagrass berms; 3: foredune and herbaceous vegetation; 4: bush vegetation; 5: trees; 6: background.

playa-duna de Baleares fue descrita por Rodríguez-Perea *et al.* (2000) y concierne a las praderas de *Posidonia oceanica* como espacio productor de sedimento, estabilizador de la playa sumergida y en la playa seca, y disipador de la energía del oleaje. La tercera y cuarta curva se establecen sobre las bermas vegetales de *Posidonia oceanica* y la propia playa emergida (Roig-Munar, 2004; Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005), por su importancia como zona de transferencia sedimentaria entre sectores playa-duna emergido y sumergido, y como aporte de materia orgánica entre la playa y las comunidades vegetales, así como elemento amortiguador del impacto de las olas de los temporales o del *runup* sobre la playa seca. A partir de dicho esquema conceptual, pueden diferenciarse cuatro puntos críticos de gestión para la minimización de impactos y la intervención sostenible de las playas en aras de su mantenimiento y recuperación, así como por extensión, para el correcto desarrollo de sus funciones ecológicas y socioeconómicas.

Hasta hace pocos años el perfil de los sistemas dunares en Menorca presentaban erosión y fragmentación en sus frentes con reactivación de procesos de transporte eólico, atribuible a un incremento de la presión antrópica sobre el sistema producto de una gestión incorrecta (Rita *et al.*, 1988; Servera, 1998; Cardona *et al.*, 2004; Roig-Munar, 2006). Las formas dunares presentaban signos de desestructuración, o bien su desaparición, pudiendo encontrarse vegetación del frente dunar desplazada en los cordones más interiores favoreciendo mayores superficies de playa en detrimento del cordón dunar (Martín-Prieto *et al.*, 2009, Roig-Munar, 2011). El resultado fue la aparición de formas erosivas tipo *blowout* que progresando hacia el interior del sistema dunar agravan en la degradación del sistema y de los elementos naturales de la playa para hacer frente a los temporales (Roig-Munar, 2011).

3 | El modelo Menorca

A partir del marco conceptual descrito en el punto anterior y aprovechando los efectos de una ley autonómica de carácter urbanístico, la Ley de Espacios Naturales (LEN) 1/91, que a partir de la figura o del instrumento de las Áreas Naturales de Especial Interés (ANEI), protegió el 43% del territorio, y eliminó la presión urbanística al 23% del litoral, en el año 2000 se inicia un plan de gestión litoral basado en criterios geomorfológicos, ambientales y sociales (Roig-Munar, 2003) que luego ha sido exportado a otras islas y dominios geográficos, así como ha inspirado algunos instrumentos normativos de conservación que están actualmente en fase de desarrollo. El modelo que surge de esta menorquina incluye cuatro elementos que se detallan en los siguientes apartados:

Clasificación de playas como herramienta

Con el fin de gestionar correctamente las playas, el año 2000 se realizó una clasificación de playas para la aplicación de medidas de gestión diferenciadas en función de la vocación de conservación y/o los valores naturales de cada playa y su potencialidad como producto o como espacio turístico y socio-económico (Roig-Munar, 2003). Esta clasificación distinguía tres tipos de playas (Fig. 2):

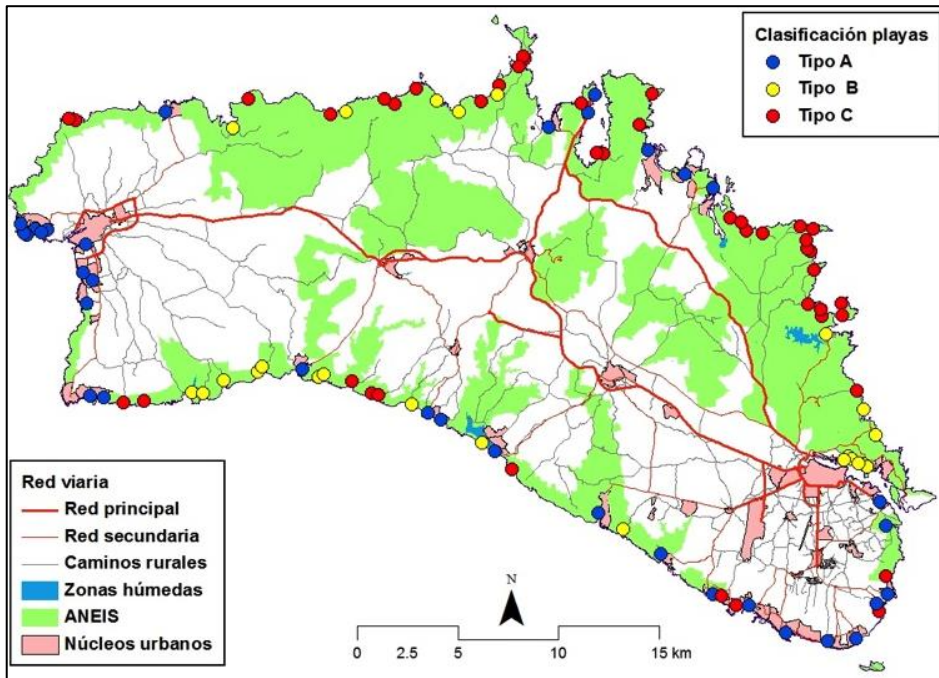


Figura 2. Clasificación de playas para su gestión.

Figure 2. Beach classification for management purposes.

- Playas A: situadas en áreas urbanas o turísticas, con servicios de playa y accesibilidad rodada a pie de playa,
- Playas B: situadas en ANEIS, con altos índices de frecuentación, accesibilidad rodada relativamente cercana y sin servicios, y
- Playas C: situadas en ANEIS, con bajos índices de frecuentación y con accesibilidad exclusivamente peatonal.

No se trata tan sólo de una categorización de playas, sino que en paralelo se implementa un sistema de indicadores (Roig-Munar, 2003) que incluyen 36 variables relacionadas con su uso, su gestión y su frecuentación (Leatherman, 1997; Morgan et al., 2000) y con el estado de conservación del sistema playa-duna (Nordstrom, y Arens, 1998; Hesp, 2002). Este sistema de indicadores y su análisis estadístico (i.e. ACP o cluster) permite predecir los cambios y tendencias de cada playa y ha supuesto una herramienta de gestión capaz de diagnosticar y pronosticar el estado de conservación y evaluar las implicaciones por parte de la administración y los agentes implicados de las diferentes estrategias de gestión y limpieza de las playas.

Así en cada una de las playas se optará por diferentes modelos y técnicas de gestión que se traducirán en cambios en las actuaciones mecánicas para su limpieza, el estado de conservación del sistema, la facilidad de acceso y de disponibilidad y distancia de servicios y equipamientos, los períodos y frecuencia de la limpieza de playas y dunas, así como la temporalización de retirada de las acumulaciones de bermas vegetales o la restitución y uso de las mismas.

Implicación social, empresarial y política

Algunas transformaciones del litoral tienen su razón de ser en la voluntad de los gestores por alcanzar la calidad “adecuada”, convirtiendo las playas en bienes naturales funcionales o de servicios. En Menorca las campañas de concienciación e implicación socioeconómica y política se inician a partir del año 2000 hasta 2010. Las campañas de concienciación tenían por objetivo informar a los usuarios, empresarios y responsables de la administración sobre los ecosistemas litorales, especialmente sobre su fragilidad y dar a conocer el grado de conformidad y satisfacción con algunas de las medidas adoptadas. Las principales medidas adoptadas durante las iniciativas de implicación de los diferentes agentes, era paliar los efectos erosivos en el sistema playa duna, estas fueron:

- La regulación de usos sobre las formas dunares, principalmente sobre el *foredune*, y eliminación, reducción y/o reubicación de servicios,
- El mantenimiento de las bermas vegetales de *Posidonia oceanica* acumuladas en las playas y la reducción de la limpieza mecanizada,
- La adecuación de estacionamientos fuera o alejados de las playas y rediseño de los mismos en base a la capacidad de carga de las física y ecológica de las playas.

Evolución espacio-temporal de los sistemas dunares

El primer análisis de sistemas dunares fue realizado por Rita *et al.* (1988), analizando 7 sistemas y evaluando la presión a la que estaban sometidos y las tendencias observadas. Servera (1997), realizó la descripción geomorfológica de 13 sistemas playa-duna, apuntando sus causas de regresión. Cardona *et al.* (2004), analizan la evolución histórica de 9 sistemas dunares, tomando como referencia a Rita *et al.* (1988) hasta el año 2002. Roig-Munar (2011) realizó un análisis espacio-temporal (1956-2008) de 28 sistemas dunares y relacionó su evolución con las medidas de gestión. Este se basó en un ACP sobre una matriz de 15 variables donde 4 factores explicaban la evolución dunar, siendo los factores más importantes aquellos que incidían sobre la *foredune* (Hesp, 2002) y su gestión (Brown y McLachlan, 1998; Roig-Munar *et al.*, 2008; Martín-Prieto *et al.*, 2007). De este modo se obtuvieron 4 cuadrantes que permiten establecer las tendencias espacio-temporales de los sistemas dunares en función de su uso y gestión (Fig. 3). Este modelo presenta una variable clave, su frente dunar, que determina el estado de conservación en todo su conjunto (Fig. 1). Este análisis espacio-temporal constituye una herramienta para medir y controlar el estado de conservación de los sistemas mediante variables, determinando tendencias de evolución relacionadas con la gestión y la respuesta del sistema.

Evolución espacio temporal entre línea de costa y foredune

Roig-Munar (2011) y Roig-Munar *et al.* (2008, 2013) analizaron la evolución de los sistemas dunares y la relación entre superficies de playas y retroceso de *foredune*, llegando a la conclusión que el problema radicaba en la pérdida de estabilidad y consiguiente incremento de movilidad hacia el sector dunar interno debido a una falta de gestión y ordenación que afectan principalmente el sector playa y *foredune*. En este sentido Mir-Gual (2014), analizó las morfologías erosivas en el frente dunar de Tirant (Norte de Menorca), concluyendo que estas reactivaban procesos dinámicos internos que no serían renaturalizados sin una adecuada gestión del frente dunar. Roig-Munar *et al.* (2007), argumentaban que la recuperación de los sistemas dunares mediante la

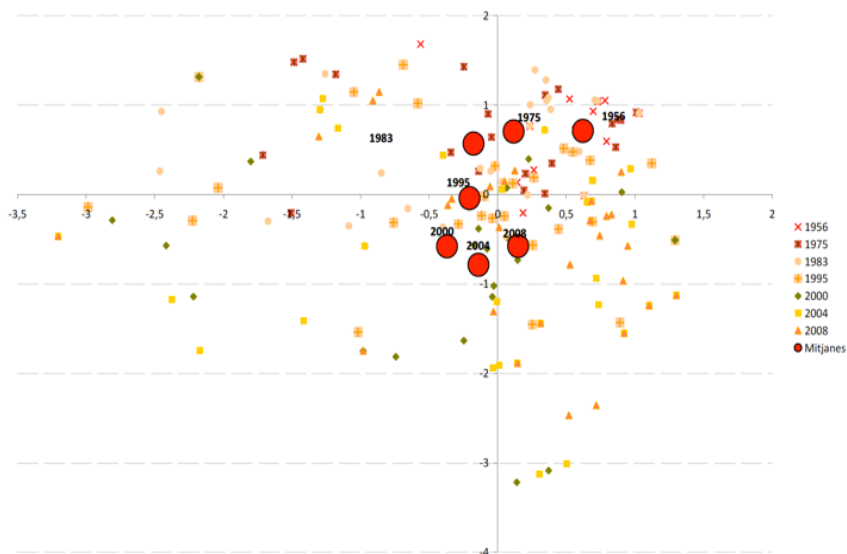


Figura 3. Evolución espacio-temporal de los sistemas dunares.

Figure 3. Dune systems space-time evolution.

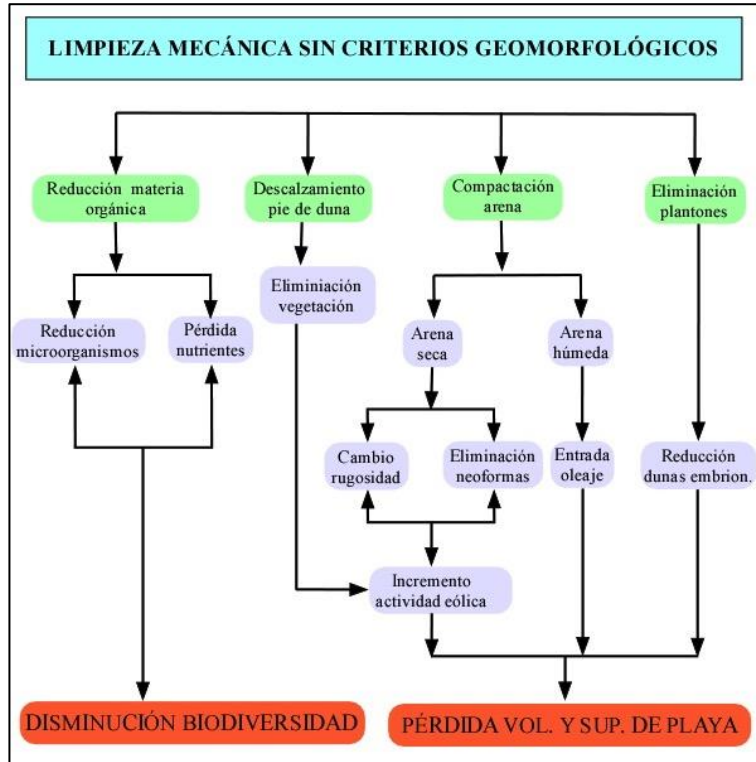
aplicación de sistemas blandos de retención requería una gestión adaptada a las necesidades de cada sistema. Con una restauración asociada a métodos y técnicas blandas poco agresivas, como son sistemas pasivos (Román-Sierra et al., 2004; Roig-Munar et al., 2012). Esta gestión requiere de una metodología práctica basada en el estudio del comportamiento espacial y temporal de las morfologías dunares (Castro, 2005; Chase y Thomas, 2006; del Valle et al., 2008; Roig-Munar et al., 2013; Martín-Prieto et al., 2016) y en base a un análisis realizado sobre fotografía aérea y la realización de una cartografía temática (Martín-Prieto et al., 2007, 2016), emular medidas de gestión blandas para renaturalizar el máximo el sistema (Roig-Munar et al., 2012).

4 | Análisis de los impactos geombientales y consecuencias de los sistemas tradicionales de limpieza de playas

Limpieza mecánica de playas

Las limpieza de playas se centra básicamente en el “lavado y alisamiento extensivo” de la superficie de playa. Ambas prácticas han sido puestas de manifiesto como las principales causas de degradación de los sistemas dunares (Roig-Munar, 2002, 2003) puesto que conllevan la alteración y desaparición de fauna intersticial del substrato arenoso (Pretus et al., 2004), deterioran la vegetación de playa alterando la secuencia natural de comunidades vegetales (Carter, 1980), afectan e impiden el desarrollo de dunas embrionarias y condicionan la evolución del *foredune*. La maquinaria pesada con la que se procede a la limpieza de la playa produce una compactación del suelo (Bird, 1996) y la modificación del perfil natural de la playa, descompensando los balances sedimentarios entre playa-duna, a raíz del cambio de la rugosidad natural y la capacidad de transporte eólico (Brown y McLachlan, 1990;

Figura 4. Consecuencias geomorfológicas de la limpieza mecanizada sobre el sistema playa-duna.
Figure 4. Beach mechanic cleaning geomorphic effects on the beach-dune system.



Rodríguez-Perea *et al.* 2000; Roig-Munar, 2004). Por tanto el resultado a lo largo del tiempo es una pérdida de volumen de sedimento y por extensión de superficie de playa seca (Fig. 4).

Retirada de Posidonia oceanica de la playa subáerea

Las bermas vegetales de restos de *Posidonia* son una masa vegetal de hojas y rizomas que se depositan en la zona límite de acción del *swash*, extendiéndose en dirección hacia tierra (Fig. 5). Por tanto su presencia o ausencia resulta determinante en la configuración y equilibrio del perfil de la playa-duna (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005). Los efectos de protección de las bermas de *Posidonia oceanica* sobre la playa han sido descritos en el Mediterráneo, evidenciando el importante papel protector de defensa de estas acumulaciones frente a los oleajes y su aportación de sedimento y materia orgánica al sistema subaéreo (Boudouresque y Meinesz, 1982; Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; Simeone, 2008; Boudouresque, 2010; Cantasano, 2011; Simeone y de Falco, 2012 y 2013). La retirada de estas bermas, basada en criterios de limpieza, supone una pérdida de volumen y superficie de playa debido a la forma de retirada, transporte y deposición (Fig. 6). Estas prácticas se realizan generalmente sin criterios técnicos por lo que se eliminan anualmente cientos de metros cúbicos de sedimento que se encuentra incorporado en las *banquettes* (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; Simeone 2008, Simeone y de Falco 2013), alterando negativamente el balance sedimentario del sistema. El efecto de la maquinaria además



Figura 5. Berma de *P. oceanica* depositada en la línea de costa (izquierda) y estratos de hojas entre niveles de arena (derecha) en Son Saura del Sud (Menorca).

Figure 5. *P. oceanica* seagrass berm along the coastline (left) and interdigitised between sandy levels (right) at Son Saura del Sud (Menorca).

puede tener consecuencias negativas sobre la playa, como la modificación del perfil o la compactación de la arena. Esta compactación cambia la rugosidad natural y elimina morfologías efímeras de playa, acrecentando el ángulo de incidencia del viento, favoreciendo la entrada de oleaje e incrementando los procesos erosivos (Bouderesque y Meinesz, 1982; Brown y McLachlan, 1990; Simeone, 2008). La eliminación de la berma, puede alterar los procesos de *runup* sobre la playa, aumentando su fragilidad en el caso de temporales (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005; de Falco *et al.*, 2008).

Aplicación de técnicas blandas de gestión en los sistemas dunares

Roig-Munar *et al* (2009) realizaron una valoración geoambiental y económica de gestiones blandas y pasivas aplicadas en los sistemas dunares Menorca. Se trata de técnicas de recuperación más lentas que requieren adecuarse a las características

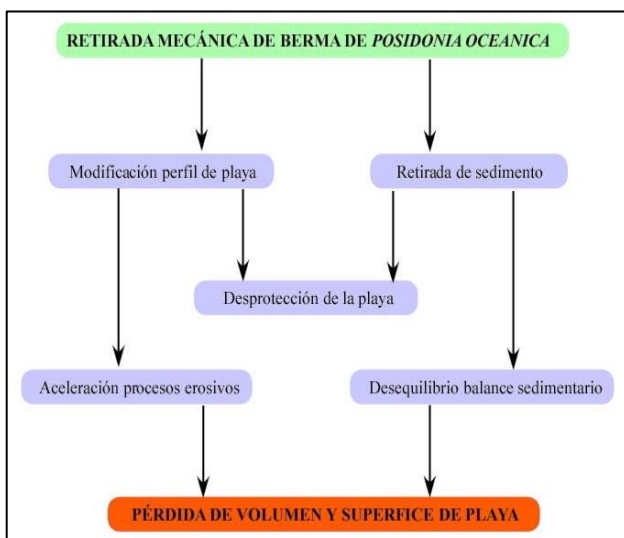


Figura 6. Consecuencias geomorfológicas de la retirada sistemática de las bermas de *P. oceanica*.

Figure 6. Effects of the *P. oceanica* seagrass berm retrieval from beach face.

de cada unidad de gestión. Estos métodos son aplicados en espacios donde se conserva un mínimo de calidad geoambiental y morfológica del sistema playa-duna. Los resultados de las técnicas son valorados económicamente y ambientalmente.

Restricciones en la limpieza mecánica de la playa

Las restricciones en la limpieza mecánica, tanto en periodicidad, como en áreas de actuación, son un factor importante para la restauración de los primeros cordones dunares. Los resultados obtenidos a lo largo de cinco años en cuatro sistemas playa-duna han sido la recuperación de 12.207 m² con una potencia media de 0,36 m de morfologías y vegetación dunar pionera, equivalente a un volumen de 879 m³ de morfologías recuperadas. El impacto ambiental de estas actuaciones es nulo y su coste económico anual ronda los 0,05 €/m³ recuperado (Tabla 1). La restricción de una limpieza mecánica se realiza tan solo en períodos estivales (mayo a setiembre), y centrada en las áreas de playa emergida y en áreas de máximo uso antrópico, lejos de las zonas de pie de foredune para favorecer el mantenimiento de morfologías dunares efímeras y vegetación asociada, a la vez que permite recuperar morfologías dunares hacia la zona de playa mediante el adelanto de los cordones disuasorios. Estas actuaciones tan solo estaban previstas en playas de tipología A (Fig. 2).

Trampas de interferencia eólica

Se trata de la instalación de barreras de diferente porosidad y altura con el objetivo de interferir la velocidad del viento y acumular el sedimento que transporta. Se optó por el uso de materiales vegetales (cañizo y/o espartina) en las discontinuidades morfológicas delanteras y en los canales de deflación y morfologías *blowout*. Los mejores resultados se obtienen con el uso de porosidades del 50% y alturas de 1-1,5 m, generando una sombra de deposición en torno a 5 y 10 veces la altura de la trampa. Los costes unitarios anuales son de 0,51 €/ m³ y el impacto ambiental es nulo (Tabla 1).

Utilización de cordones disuasorios

La colocación de estacas unidas mediante cuerdas para impedir el paso de usuarios hacia el interior de los sistemas dunares permite una recuperación lenta y progresiva de morfologías y vegetación asociada. La técnica favorece la recolonización vegetal de senderos sobre el sistema. Las ganancias volumétricas no superan espesores de 0,30 m pero favorecen de forma acelerada y progresiva la colonización vegetal y la creación de morfologías asociadas. Los costes anuales son bajos, entorno el

Sistema de recuperación	Coste anual	Impacto
Restricciones en la limpieza mecánica de la playa	0,05 €/ m ³	Nulo
Uso de bermas de <i>Posidonia oceanica</i> en la playa	28 €/ m ³	Nulo
Uso de restos de <i>Posidonia oceanica</i> como barrera eólica	0,19 €/ m ³	Nulo
Uso de restos de <i>Posidonia oceanica</i> en playas urbanas	95,06 €/ m ³	Muy bajo
Utilización de cordones disuasorios del paso en dunas	0,25 €/ m ³	Nulo
Trampas de interferencia eólica	0,51 €/ m ³	Nulo

Tabla 1. Comparación de las valoraciones geoambientales y económicas de los diversos sistemas de recuperación. Fuente: Roig-Munar *et al.* (2009).

Table 1. Monetary comparison between different beach-dune system management options. After Roig_Munar *et al.* (2009).

0,25 €/m³ y el impacto ambiental asociado es nulo (Tabla 1). Estos cordones pueden ser adelantados de forma puntual una vez se recupera el sistema dunar, tareas que han de ir asociadas a la sectorialización de las tareas de limpieza mecánica que permitan la recuperación de los frentes de *foredune* en la parte alta de playa.

Uso de restos de posidonia

La acumulación de restos de posidonia retirados mecánicamente sobre el sistema sirven como técnica de interferencia eólica (Roig Munar et al., 2004). Se han usado como pantallas eólicas en discontinuidades dunares y en canales de deflación, aportando al sistema materia orgánica y sedimento intercalado, favoreciendo la rápida colonización vegetal y actuando como pantalla de interferencia eólica. El coste de la técnica equivale a 0,19 €/ m³ sin impacto ambiental asociado (Tabla 1).

Uso de restos de posidonia en la playa emergida

La retirada de bermas de *Posidonia oceanica* genera importantes pérdidas de sedimento (Fig. 6) que son transportados y depositados fuera del ambiente playa-duna, produciéndose así su pérdida sedimentaria definitiva (Roig-Munar y Martín-Prieto, 2005). Nivelar el perfil natural de playa sobre las bermas vegetales recubriéndolas con arena, permite la ganancia temporal de superficie de playa y acelera de forma inversa los procesos naturales de adosamiento y sedimentación de barras sumergidas sobre bermas. El impacto ambiental asociado es prácticamente nulo y su coste unitario es de 28 €/m³ recuperado (Tabla 1).

Retorno de restos de Posidonia

Los restos vegetales retirados de *Posidonia oceanica* pueden ser reservados mediante acopios para su posterior retorno a la zona de *swash*. La devolución de los restos acelera de forma artificial la creación de bermas naturales de acumulación y la protección natural de playa, aportando el sedimento intercalado en su retirada. El coste anual por m³ es elevado, 95,06 €, y el impacto ambiental asociado es puntual, estando asociado al impacto de su retirada y posible desprotección de la playa emergida (Tabla 1).

Una gestión con criterios de zonación geomorfológica

A partir de la Tabla 1 pueden definirse las técnicas a aplicar en cada sistema playa-duna teniendo en cuenta los diferentes sectores y grados de sensibilidad geoambiental definidos en la Figura 1, así como las diferentes tipologías de playas representadas en la Figura 2 y los impactos y beneficios geoambientales, a corto y medio plazo, descritos en este trabajo. Estas técnicas de gestión se basan en Roig-Munar (2002 y 2011) y su objetivo es la paliación basada en la temporada de uso y aprovechamiento de playas.

En la Figura 7 se representan los sectores playa, *foredune* y sistema dunar, coincidiendo con los sectores sensibles a la gestión y uso, descritas en la Figura 2 y las medidas y técnicas de gestión de la Tabla 1. Inicialmente las gestiones amparadas en la limpieza mecanizada y retirada de *Posidonia oceanica* habían sido definidas solo para realizarlas en playas de tipología A y en temporada estival (de mayo a setiembre), mientras que el resto de técnicas de intervención, como son trampas y delimitación del perímetro de los sistemas han sido utilizadas en todas las categorías de playa (A, B y C). Observamos en la Tabla 2 que algunas de las gestiones mecánicas que generan impactos continuos sobre el sistema playa y los frentes dunares (Fig. 4 y 6), hoy por

Estrategia de gestión por tipología de playa	PLAYA			FOREDUNE			SISTEMA DUNAR		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Retirada de <i>Posidonia</i>	👍	👎							
Retorno de <i>Posidonia</i> a la playa	👍	👎							
Restos de <i>Posidonia</i> para restaurar dunas				👍	👍		👍		
Cribado de playas	👍	👎							
Cordones disuasorios				👍	👍	👍	👍	👍	👍
Avance acordonamientos				👍	👍	👍			
Trampas de interferencia			👍	👍	👍	👍	👍	👍	👍

Figura 7. Aplicación de técnicas de gestión por sectores de playa, temporada y tipología de playas y dunas. 👍: técnicas recomendadas. 👎: técnicas no recomendadas pero actualmente utilizadas en estos sectores.

Figure 7. Beach management practices and beach-dune system geomorphic zonation and beach type. 👍: Commended techniques. 👎: Not commended techniques.

Hoy son aplicadas, hecho que genera impactos por pérdidas de sedimento y por modificaciones del perfil playa-duna, así como una confinación de las morfologías dunares recuperadas sin posibilidad de avance de los cordones disuasorios para la recuperación del frente dunar.

5 | Evolución de los sistemas playa-duna mediante medidas de gestión sostenible

Se analiza la evolución de tres sistemas dunares de Es Grau, s'Olla y Tirant (Fig. 2), sometidos a diferentes gestiones mencionadas en el apartado anterior (Tabla 1), mediante las fotografías aéreas de 2002 a 2015 y se relacionan con los métodos y efectos de una gestión sostenible del sistema playa-duna, con especial incidencia en los sectores 2, 3 y 4 de las curvas de sensibilidad geoambiental (Fig. 1). Estos sistemas presentan similitudes en las formas de erosión asociadas a las prácticas de gestión.

Sistema	1988	1997	2002	2006	2008	2010	2012	2015	2017
Es Grau	Regular	4	2	2	2	1	1	1	1
S'olla	Malo	5	5	4	3	3	2	2	2
Tirant	Regular	4	4	4	4	3	2	5	5

Tabla 2. Valoración de los sistemas dunares dalanteros basado en la clasificación morfoecológica de Hesp (2002) y en la clasificación utilizada por Rita *et al.* (1988).

Table 2. Dune systems evaluation according Hesp (2002) morphological and ecological classification and according with Rita *et al.* (1988).



Figura 8. Estabilización natural del sistema dunar delantero por la restricción de actuaciones de limpieza mecanizada. Playas des Grau (izquierda) y Son Bou (derecha).

Figure 8. *Foredune natural stabilization associated to the reduction of mechanical activities. Beaches of Es Grau (left) and Son Bou (right).*

Se ha evaluado el estado ambiental de sus cordones dunares delanteros en base a la clasificación de Hesp (2002), que clasifica el estado ambiental de *foredunes* en 5 estadios, siendo el estadio 1 óptimo y el 5 degenerativo, y su relación con las medidas de gestión aplicadas (Fig. 1).

Observamos en la Tabla 2 que desde el 2002 se aprecia cierta mejora en la recuperación lenta y progresiva del frente dunar de los tres sistemas que ha sido gestionados en base a criterios geomorfológicos, excepto en el caso de Tirant, que en el año 2002 revierte la tendencia de recuperación hacia una tendencia de erosión grave, pasando a un estadio 5, debido a la falta de aplicación de medidas de gestión sobre un sistema muy dinámico.

Sistema playa-duna de es Grau

La playa forma parte de un sistema dunar bien desarrollado y que presenta un buen estado de conservación a lo largo de todo su cordón delantero. Este sistema dunar forma una barra de arena vegetada que separa el mar de la zona húmeda de s'Albufera d'es Grau, con un arenal que se extiende hasta 500 m hacia el interior. Se trata de un sistema dunar restinga, de tipología B, donde hasta la década de los 2000 las gestiones realizadas eran mecánicas y sin ningún tipo de regulación de usos (Fig. 6).

Según Servera (1997), las morfologías dunares no tienen capacidad de respuesta a las desestabilizaciones observadas. Sin embargo, la gestión realizada con la instalación de cordones disuasorios y la restricción de la limpieza mecánica ha invertido esa tendencia regresiva. El resultado ha sido un incremento de la superficie vegetada, además de volumen de la *foredune*.

Podemos observar en la Figura 8, como el sistema dunar delantero se ha estabilizado con recolonización natural de vegetación psamófila y ganancias sedimentarias sin necesidad de intervenciones mediante trampas barrera. En la Tabla 2 se puede seguir la evolución del sistema dunar delantero basado en los criterios de Hesp (2002). Partíamos de un estadio 4 en el año 1997 a un estadio 2 entre 2002 y 2006 y finalmente a un estadio 1 en el año 2017 (Fig. 9).

Figura 9.
Evolución espacial y temporal del sistema playa-duna de Es Grau.

Figure 9.
Spatial and temporal evolution of Es Grau beach-dune system



Sistema playa-duna de s'Olla

Se trata de un sistema dunar de tipología A, encajado entre dos relieves estructurales que condicionan la dinámica eólica de marcada componente N. La destrucción de la primera línea de dunas es determinante a la hora de valorar el comportamiento geomorfológico del sistema. La sinergia entre la desaparición de la *foredune* y la disminución de la superficie vegetada hace que el sistema sea muy activo desde el punto de vista sedimentario, incrementando la vulnerabilidad erosiva de la playa, la cual se manifiesta en el desarrollo tierra adentro de dos importantes canales de deflación de grandes dimensiones (Fig. 10).

Hasta la década de los años 2000, las gestiones realizadas eran fundamentalmente mecánicas y sin ningún tipo de regulación de usos sobre el sistema dunar (Roig-Munar *et al.*, 2004). La gestión realizada en este sistema obedecía a la restauración urgente debido a la fragmentación y el carácter regresivo del sistema en todo su conjunto, pero fundamentalmente en la *foredune*, la cual entre 1956 y 2012 retrocedió un promedio de 33.48 m, con una media anual de -0.60 m/a (Mir *et al.*, 2015).

La gestión se basó en la instalación de cordones disuasorios y la restricción de la limpieza mecánica a lo largo de toda la playa emergida y la restricción indiscriminada de retirada de *Posidonia oceanica*. Por lo que respecta al sistema dunar delantero, este fue gestionado mediante cordones disuasorios, trampas sedimentarias (tanto espartina como cañizo), aportación de *Posidonia oceanica* y siembra de *Ammophila arenaria*. El resultado (Fig. 10) se puede observar en la recuperación del frente dunar



Figura 10. Acciones de gestión y de recuperación en el sistema dunar de s'Olla.
Figure 10. Management and restoration actions at s'Olla dune system.

del año 2006, con una *foredune* incipiente (Fig. 11). A medida que se aplican las técnicas de gestión blandas en el sistema, éste se estabiliza hasta el año 2015 con un incremento de la superficie vegetada, revertiendo la situación negativa inicial a una de positiva y registrándose un crecimiento de la *foredune* de 0,96 m de potencia, con una media anual de 0,02 m/a y una estabilización de los procesos erosivos de su frente dunar (Mir-Gual *et al.*, 2015). Actualmente (2017) las gestiones de cribado se realizan en toda la extensión de playa alta, no permitiendo la regeneración de morfologías incipientes en la playa alta e impidiendo la generación de morfologías que permitan adelantar los cordones disuasorios.

En la Tabla 2 se puede seguir la evolución del sistema dunar delantero basado en los criterios de Hesp (2002). Este sistema se encontraba inicialmente en un estadio 5 de máxima degradación y que ha ido evolucionando a un estadio 1 en 2017, favorecido por la aplicación de las medidas de gestión sostenibles en cada una de los puntos sensibles del sistema (Fig. 1).

Sistema playa-duna de Tirant

Se trata de un sistema dunar de tipología B, encajado entre dos relieves y fuertemente condicionado por la dinámica eólica de componente N. Las morfologías dunares delanteras presentaban un estado de degradación importante, al igual que, condicionada por una extracción masiva de áridos en el sector interno del sistema dunar hasta mediados de la década de 1990 (Servera, 1997). Hasta la década de los 2000 las gestiones realizadas eran fundamentalmente mecánicas y sin ningún tipo de regulación de usos (Roig-Munar *et al.*, 2004).

Por lo que respecta al sistema dunar delantero, este ha presentado diferentes grados de alteración en las últimas décadas, siendo objeto de un plan de gestión que redujo su limpieza mecánica de playa aérea y restringió la retirada de *Posidonia oceanica*, hecho que permitió de forma temporal la recuperación de las morfologías altas de playa en su contacto con *las foredune*. Así mismo el sistema fue objeto de un plan de restauración mediante trampas de interferencia (espartina y cañizo), el uso de bermas retiradas de *posidonia* dentro de canales de deflación y la instalación de vallados para impedir el paso de usuarios dentro del sistema. Estas gestiones fueron



Figura 11. Evolución espacial y temporal del sistema playa-duna de s'Olla.
Figure 11. Spatial and temporal evolution of s'Olla beach-dune system

desarrolladas hasta el año 2012, especialmente sobre sus morfologías erosivas *blowout*, las cuales fueron prácticamente selladas con vegetación. El sistema dunar delantero fue parcialmente recuperado mediante la aplicación de estas gestiones sos-

Figura 12.
Evolución espacial y temporal del sistema playa-duna de Tirant.

Figure 12.
Spatial and temporal evolution of Tirant beach-dune system



tenibles, que posteriormente dejaron de aplicarse amparadas en la crisis económica. Esta falta de continuidad en la gestión del frente dunar delantero ha facilitado su reactivación mediante las morfologías *blowouts* y la creación de nuevos canales de

deflación dirección con dirección N-S a partir del año 2010 (Fig. 12), con una importante fragmentación de su frente dunar, multiplicando por cinco su superficie (Garriga-Sintes *et al.*, 2017). Se pone de manifiesto en la Tabla 2 la evolución seguida por el sistema dunar delantero basado en los criterios de Hesp (2002) y como este sistema se encontraba inicialmente en un estadio 4 hasta el año 2008. Mediante la implantación de medidas de gestión se pasó a un estadio 3 y 2 para acabar en una dinámica erosiva y un estadio 5 en 2017.

5 | Conclusiones

El trabajo contribuye a demostrar que un cambio en el concepto de gestión, a partir de un marco conceptual que descansa en criterios geomórficos y ecológicos, así como en una apuesta por el uso de técnicas blandas y con el necesario soporte social para su implementación, puede invertir las tendencias erosivas de un sistema playa-duna sin comprometer su uso y explotación, procurando la recuperación, restauración y mantenimiento de las zonas dañadas que no sean capaces de restaurarse por si solas debido a la falta de mecanismos naturales eficaces.

La aplicación de criterios geomorfológicos es de vital importancia en la gestión de sistemas dunares, y su conservación dependerá del uso racional del sistema. Para ello, además de ordenar y restringir en la medida de lo posible una frecuentación excesiva, bien mediante cordones disuasorios o reordenación de aparcamientos, debe procurarse la instalación de barreras de interferencia eólica que sustituyan temporalmente la vegetación y permitan reiniciar la retención y acumulación de sedimento.

Conocer la evolución espacio-temporal, la dinámica eólica y sedimentaria del sistema, y los impactos que generan las gestiones y usos es necesario para conseguir el éxito de la acción de gestión. Confiar en la capacidad de regeneración vegetal, apoyarla e incluso acelerarla siguiendo sus patrones naturales es la estrategia más adecuada para recuperar *blowouts* y canales de deflación, que posteriormente serán revegetados de forma natural, una vez los procesos erosivos hayan desaparecido. En los tres casos expuestos se ha revertido la tendencia erosiva del sistema dunar y el avance de la playa en detrimento del sistema dunar, recuperando y estabilizando las morfologías dunares delanteras (Roig-Munar, 2011).

A pesar de lo expuesto a lo largo de este trabajo este modelo, basado en criterios geomorfológicos y de capacidad de carga ha dejado de ser aplicado en los últimos años, con la retirada mecánica de *Posidonia oceanica* y limpiezas mecánicas en playas de tipología B, sin presupuestos para el mantenimiento de las medidas de gestión para retener sedimento en muchos sistemas dunares, la instalación de servicios en playas de tipología B, y con la ampliación de algunos estacionamientos para dar más cabida a la demanda. Esta reversión del modelo a corto plazo puede desencadenar procesos erosivos en sistemas que fueron restaurados y dar carta de naturaleza a hábitos de gestión contraproducentes para el sistema.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Dr. Lluís Gómez-Pujol las sugerencias y comentarios críticos a propósito de la versión preliminar del presente trabajo.

Bibliografía

- Arens, S.M. & Wiersma, J., (1994): The Dutch foredunes: Inventory and classification. *J. Coastal Res.*, 10 (1): 189-202.
- Ariza E. (2011): An analysis of beach management framework in Spain. Study case: the Catalan coast *Journal of Coastal Conservation*, 15: 445-455.
- Ariza, E., Jiménez, J.A. y Sardá, R. (2008): Seasonal evolution of beach waste and litter during the bathing season on the Catalan coast. *Waste Management*, 28(12): 2604-2613.
- Balaguer P, Diedrich A, Sardá R, Fuster M, Cañellas B. y Tintoré J. (2011): Spatial analysis of recreational boating as a first key step for marine spatial planning in Mallorca (Balearic Islands, Spain). *Ocean & Coastal Management*, 54: 241-249.
- Bird, E. (1986): *Beach management*. Chichester., Wiley. 218 pp.
- Brown, A. C. y McLachlan, A. M. (1990): *Ecology of sandy shores*. Amsterdam, Elsevier.
- Cardona, X., Carreras, D., Fraga, P., Roig-Munar, F.X. y Estaún, I. (2004): Avaluació de l'estat dels sistemes dunars de Menorca 2002. En: Pons, G.X (ed.). *IV Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*: 307-308. Palma de Mallorca, Soc. Hist. Nat. Balears.
- Carter, R.W. (1980): Human activities and geomorphic processes: The example of recreation pressure on the Northern Ireland coast. *Z. Geomorph. N. F.*, 34: 155-164.
- Carter, R.W. (1988): *Coastal environments, an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. London, Academic Press. 617 pp.
- Hesp P.A. (1988): Morphology, dynamics and integral stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Journal of Sedimentology and Geology*, 55: 17-41.
- Hesp, P.A. (2002): Fore dunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245-268.
- Jimenez, J.A., Sancho-Garcia, A., Bosom, E., Valdemoro, H.I. y Guillen, J., (2012): Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958-2008. *Geomorphology*, 143, 24-33.
- Leatherman, S.P. (1997): Beach rating: a methodological approach. *Journal for Coastal Research*, 3(1): 253-8.
- Martín Prieto, J. A., Roig Munar, F. X., Rodríguez Perea, A., Mir Gual, M., Pons Buades, G. X. y Gelabert B. (2016): La erosión histórica de la playa de sa Ràpita (S. Mallorca). *Investigaciones Geográficas*, 66: 135-154.
- Martín-Prieto, J.A., Roig-Munar, F.X., Pons, G.X. y Rodríguez-Perea, A. (2009): La foredune como elemento estabilizador en el sistema playa-duna. En: Morales, J.A., Cantado, M., Rodríguez, A. y Delgado I. (eds.). *Nuevas contribuciones sobre geomorfología litoral*: 45-48. Huelva, Universidad de Huelva.
- Michael, M., Carlos Pereira Da, S. y Cooper, J.A.G., (2002): A comparative study of the perception and value of beaches in rural Ireland and Portugal: implications for coastal zone management. *J. Coast. Res.*, 18 (1): 14-24.
- Morgan, R., Gatell, E., Junyent, R., Micallef, A., Özhan, E.I. y Williams, A.T. (2000): An improved user-based beach climate index. *Journal of Coastal Conservation*, 6: 41-50.
- Nordstrom, K.F. y Arens, S.M. (1998): The role of human actions in evolution management of foredunes in The Netherlands and New Jersey, USA. *Journal of Coastal Conservation*, 4: 169-180.
- Nordstrom, K.F., (2008): *Beach and dune restoration*. Cambridge, Cambridge University Press, 187 p.
- Ojeda, J., Vallejo, I., Hernández, L. y Alvarez, J. (2007): Fotogrametría digital y LIDAR como Fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares): el potencial de su análisis espacial a través de SIG. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, 215-233.
- Pintó, J., Martí, C y Fragüell, R.M. (2014): Assessing current conditions of coastal dune systems of Mediterranean developed shores. *Journal of Coastal Research*; 30(4): 832-842.

- Pretus, J.L., Obrador, B., Canals, A. y Roig-Munar, F.X. (2004): Caracterització del medi intersticial de les platges de Menorca i intent de diagnosi del seu valor indicador de la qualitat ambiental. En: Pons, G.X (ed.), *IV Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències i Resums*. Palma, Soc. Hist. Nat. Balears.
- Psuty, N.P. (1988): Sediment budget and dune/beach interaction. *J. Coastal Res*, 3: 1-4
- Rita, J., Rodríguez, A. y Tébar, F. (1988): *Sistemas dunares de Menorca. Valoración Geoambiental y estado de conservación*. Document inèdit. Menorca, IME, 109 pp.
- 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*. Palma, Universitat de les Illes Balears. 110 pp.
- Roig-Munar, F. X. (2001): *Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les Illes Balears*. Tesi doctoral. Departament de Ciències de la terra. Palma, Universitat de les Illes Balears, 141 pp
- Roig-Munar, F., Comas, E., Martín-Prieto, J. y Rodríguez-Perea, A. (2008): Seis casos de estudio de análisis de la evolución temporal de 28 sistemas playa-duna de Menorca (1956-2004). En: Pons, G.X. (ed.), *V Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Ponències y resums*: 353-356. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Roig-Munar, F.X, Rodríguez-Perea, A. y Martín-Prieto, J.A. (2004): Influencia antrópica en la alteración del sistema playa-duna de Son Bou (Menorca). En: Benito, G. y Díez-Herrero, A. (eds.), *Contribuciones Recientes sobre Geomorfología*: 375-384. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC.
- Roig-Munar, F.X. (2002): El Pla de neteja integral del litoral de Menorca. Aspectes geomòrfics, ambientals i socials. *Boll. Geografia Aplicada.*, 3-4: 51-64.
- 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. (2004): Análisis y consecuencias de la modificación artificial del perfil playa-duna por el efecto mecánico de su limpieza. *Investigaciones geográficas*, 33: 87-103.
- Roig-Munar, F.X. y Martín-Prieto, J.A. 2005. Efectos de la retirada de bermas vegetales de *Posidonia oceanica* sobre playas de las islas Baleares: consecuencias de la presión turística. *Investigaciones Geográficas de Mexico*, 57: 39-52.
- Roig-Munar, F.X., Comas Lamarca, E., Rodríguez-Perea, A. y Martín Prieto, J.A (2005): Management of Beaches on the Island of Menorca (Balearic Islands): The Tension between Tourism and Conservation. *Journal Coastal Research*, SI 49: 89-93.
- Roig-Munar, F.X., Martín, J.A., Rodríguez-Perea, A., Mir-Gual, M. y Gelabert, B. (2013): Alteraciones asociadas a factores antrópicos (1956-2007) en los sistemas playa-duna de Menorca. *Geotemas*; 13: 119-122.
- 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 I.). *Journal of Coastal Research*, SI 48: 107-111.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Rodríguez-Perea, A., Pons, G.X. y Mir-Gual, M. (2012): Alternativas ambientales en la gestión de playas y sistemas dunares en las Islas Baleares. En: Rodríguez-Perea, A., Pons, G.X., Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Mir-Gual, M. y Cabrera, J.A. (eds.), *La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa*: Mon. Soc. Hist. Nat. Balears. 19: 77-91. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea A., Martín-Prieto J.A. y Pons G.X. (2009): Soft Management of Beach-Dune Systems as a Tool for their Sustainability. *Journal Coastal Research*, SI 56: 1284-1288.
- Sardá, R., Conde, R., Casadesús, M., Sánchez, A., Lozoya, J.P., Pintó, J. y Jiménez, J.A. (2013): Erosión en las playas y gestión desintegrada: la problemática actual de la playa de s'Abanell. En: Sardá, R., Pintó, J., Valls, J.F. (eds.) *Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas*: 51-72. Girona, Documenta Universitaria
- Servera, J. (1997): *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesi doctoral. Departament de Ciències de la Terra. Palma, Universitat de les Illes Balears. 2 vol. 908 pp. y atlas 138 pp.

- Short, A.D. y Hesp, P.A. (1982): Wave, beach and dune interactions in South Eastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259–284.
- Silva, C.P.D. (2006): Landscape perception and coastal management: a methodology to encourage public participation. *Journal of Coastal Research*, SI39. 930–934.