

# La importancia de la primera línea de duna para el estado de conservación de los sistemas de dunas costeras.

## *The importance of the first dune strip for the conservation state of the coastal dune systems.*

M. Mir-Gual<sup>1</sup>, G.X. Pons<sup>1</sup>, I. Delgado-Fernández<sup>2</sup>, B. Gelabert<sup>1</sup>, J.A. Martín-Prieto<sup>1</sup>, A. Rodríguez-Perea<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación BIOGEOMED. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universitat de les Illes Balears. Cra. de Valldemossa, km. 7,5 (07122); [miquel.mir@uib.es](mailto:miquel.mir@uib.es)

<sup>2</sup> Department of Geography. Edge Hill University. Ormskirk, Lancashire, UK; [Delgadoi@edgehill.ac.uk](mailto:Delgadoi@edgehill.ac.uk)

**Resumen:** Muchos son los estudios que se han centrado en analizar los agentes y procesos que dan lugar a la formación de los sistemas sedimentarios costeros. No obstante, existe menos información por lo que se refiere al comportamiento de estos sistemas una vez formados, de sus procesos de erosión/sedimentación, y de sus patrones evolutivos y de desarrollo. En lugares como las Islas Baleares, los procesos erosivos de la playa alta pueden suponer efectos negativos en tanto a la principal actividad económica, basada en turismo de sol y playa. De esta problemática existente y tangible, y a raíz de los resultados obtenidos en una reciente tesis doctoral, el presente trabajo pretende ilustrar empíricamente la importancia que una primera línea de duna bien conservada tiene en tanto a la conservación integral de todo el sistema de dunas asociado. Los resultados obtenidos a partir de varios experimentos de campo demuestran como la presencia de una primera línea de duna bien desarrollada es factor clave para el estado de conservación de todo el complejo de dunas. Su presencia, la cual incrementa la rugosidad de la superficie, supone una disminución de la velocidad del viento, y un incremento de la deposición sedimentaria. Este hecho ayuda a disminuir los patrones de erosión de la playa alta hacia el interior del sistema dunar. En este sentido, la información obtenida nos permitirá mejorar los planes de gestión futuros, ayudando a mantener balances sedimentarios positivos para la playa emergida de estos sistemas.

**Palabras clave:** *dunas costeras, erosión, sedimentación, dinámica eólica, dinámica sedimentaria.*

**Abstract:** *Most of the studies have focused their efforts on analysing the agents and factors that suppose the formation of the sedimentary coastal systems. However, there is less information about the behaviour of these systems once formed, about their erosion and sedimentation processes, and about their evolutive patterns. In places such as Balearic Islands, the erosion processes on the emerged beach can suppose negative effects for the main economic activity, based on beach and sun tourism. With this scenario, and from the results obtained through a PhD thesis, this work aims to show the importance that a first line of dune well preserved has for the conservation state of the whole dune complex. The results obtained from several field experiments show how the presence of a well-preserved foredune is a key factor as for the conservation state of the associated dune complex. Its presence, which increases the surface rugosity, supposes a decrease of the wind speed and an increase of sedimentation rates. This help to diminish the erosion patterns from the emerged beach to the innermost of the dune complex. In this sense, the information obtained will help to improve the future management plans, and keep positive sedimentary balances on the emerged beach..*

**Key words:** *coastal dunes, erosion, sedimentation, Aeolian dynamic, sedimentary dynamic.*

## INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la actividad económica en las Illes Balears se genera en su sector turístico (el 42% de su PIB), el cual se encuentra asociado, principalmente, a las costas sedimentarias. La presión a la que estos ambientes se han visto sometidos trae consigo a que sean muchos los problemas de erosión existentes en sistemas playa-duna, bien asociados a un retroceso de la línea de costa (Roig-Munar et al., 2012), o bien a los que afectan directamente sobre el estado de conservación del sistema de dunas (Mir-Gual et al., 2013, Mir-Gual, 2014).

A pesar de que existen referencias centradas en la importancia que deben tener las medidas de gestión blandas basadas en la recuperación geomorfológica de

los sistemas playa-duna (Roig-Munar et al., 2009), hoy aún persiste un notable vacío en tanto a las evidencias empíricas y experimentales que ayuden a mejorar la toma de decisiones en tanto a una gestión óptima de éstos. Este trabajo tiene como objetivo demostrar, a partir de datos obtenidos en campañas de campo, de la importancia que, en lugares como las Baleares, tiene preservar un estado óptimo de conservación de la primera línea de dunas, el cual ayudará a disminuir las tasas de erosión de la playa emergida, punto de máximo interés social y económico.

## ZONA DE ESTUDIO Y MÉTODOS

El trabajo que se presenta se articula a partir de los datos obtenidos en un experimento de campo realizado en el frente del sistema de dunas de Cala Tirant,

situado en la costa norte de la isla de Menorca (Illes Balears) (Fig. 1), bajo unas condiciones de viento moderadas-fuertes ( $5,7 \text{ ms}^{-1}$ ). El experimento se centró en el monitoreo continuado a lo largo de 24h de muestreo en el frente de dunas con el objetivo de conocer la dinámica eólica asociada a las condiciones topográficas existentes y en consecuencia, determinar los patrones de transporte sedimentario entre la playa y el interior del campo de dunas. Se presenta también un modelo CFD (*Computational fluid dynamic*) que permite conocer e interpretar el comportamiento del flujo eólico en relación a la topografía existente, dando datos adicionales sobre la velocidad y la dirección de éste bajo una velocidad media de  $5,1 \text{ ms}^{-1}$  con input en la parte superior de la playa emergida (anemómetro 1).

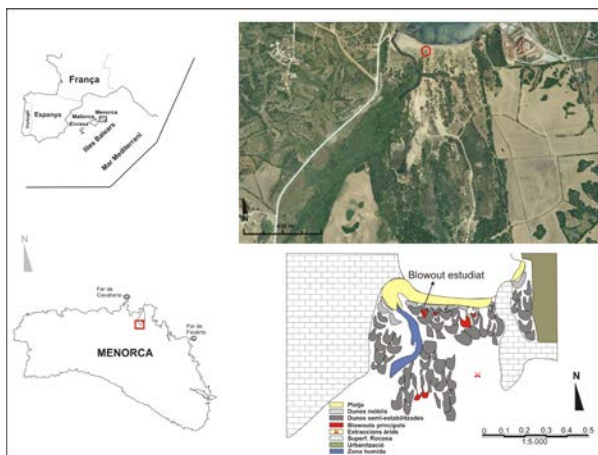


FIGURA 1. Localización del sistema de dunar de Cala Tirant (Menorca) y del área monitoreada durante el experimento.

El monitoreo para conocer la dinámica eólica asociada a la zona de estudio definida se llevó a cabo a partir de la utilización de 7 anemómetros 2D (velocidad y dirección) con una frecuencia de muestreo de 1 min a lo largo de 24h. Con el fin de conseguir una cobertura espacial óptima, los dispositivos se dispusieron desde el límite superior de la playa alta hasta el lóbulo de deposición de una morfología *blowout* presente en primera línea (considerando estas morfologías como canales de deflación que ayudan al transporte de arena desde la playa hacia el interior), además de anemómetros en las partes anterior y posterior a la *foredune*. Respecto al transporte, éste se calculó a partir de la utilización de 12 trampas verticales de sedimento (modelo Leatherman) dispuestas en tres grupos con el objetivo de convertirlas en trampas multi-direccionales. Un primer grupo (TA) se localiza en el límite superior de la playa emergida, un segundo (TB) en la parte posterior a la línea de *foredune*, y un tercero (TC) en el lóbulo de deposición interior. Cada grupo de trampas tiene asociado un anemómetro de referencia.

## RESULTADOS

Los resultados muestran como el comportamiento del flujo eólico es diferencial a lo largo de la primera línea de duna monitoreada. El modelo CFD muestra como el viento se canaliza a lo largo de la cubeta de deflación de la morfología *blowout*, incrementando su velocidad en la boca de la misma (debido al efecto Venturi) y llegando a su máxima en su margen superior interno. El flujo, una vez pierde la presión estática de la topografía, se expande direccionalmente y disminuye su velocidad (Fig. 2). Estos resultados se ratifican con la aplicación del *fractional speed-up ratio*, basado en Hugenholtz y Wolfe (2009), el cual sugiere de nuevo que la incidencia energética sobre la propia morfología es variable, tal y como se refleja en la Figura 3. Partiendo de unas condiciones iniciales de input en el anemómetro 1, se percibe que la velocidad del viento disminuye una vez el flujo supera la línea de *foredune*. Esta disminución se atribuye a un incremento de la rugosidad superficial asociada a la presencia de vegetación herbácea y dunas embrionarias tipo *echo-dunes*. Posteriormente se ve un incremento progresivo de la velocidad del viento a lo largo del canal de deflación, asociado en este caso a la presión ejercida por la topografía de la misma morfología, que respondiendo al principio de Bernoulli, supone una canalización del mismo. Finalmente, cuando el flujo llega al límite superior del *blowout*, coincidiendo con el inicio del lóbulo de deposición, experimenta un proceso de expansión y de nuevo una disminución de su velocidad, en este caso atribuible a la pérdida del control estático de la topografía. El comportamiento explicado deja entrever que la topografía juega un papel clave en tanto al comportamiento del flujo eólico una vez éste incide sobre la morfología *blowout*. Los perfiles longitudinales de viento derivados (Fig. 3) muestran, pues, como la presencia de una *foredune* bien desarrollada disminuye la velocidad del flujo eólico incidente, y en consecuencia, su capacidad erosiva.

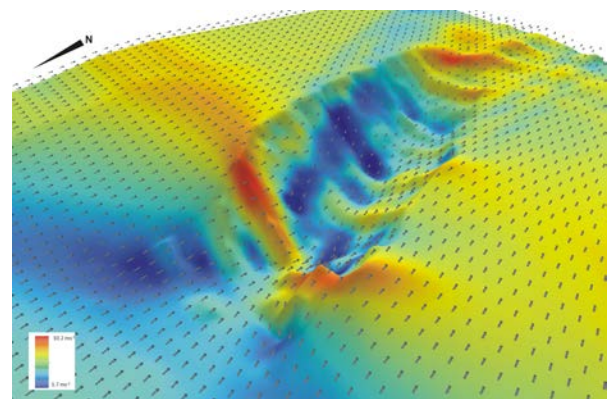


FIGURA 2. Modelo CFD (Computational fluid dynamics) en la zona de estudio.

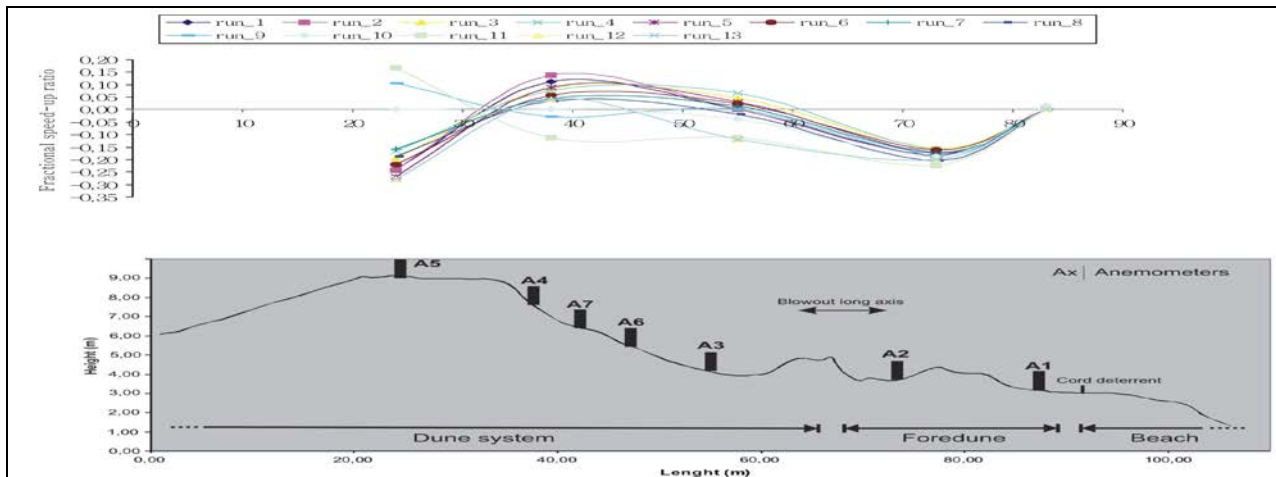


FIGURA 3. Perfiles longitudinales de viento a lo largo de la primera línea de dunas de Cala Tirant (Menorca) a partir de la aplicación del fraccional speed-up ratio (Hugenholtz y Wolfe, 2009).

En términos medios las máximas velocidades de viento se dieron en la pared lateral oeste del *blowout* (media= 5,4 ms<sup>-1</sup>; máximas= 6,4 ms<sup>-1</sup>) y en la rampa interior, entre la cubeta de deflación y el lóbulo de deposición (media= 5,0 ms<sup>-1</sup>; máximas= 6,1 ms<sup>-1</sup>), mientras que los valores mínimos fueron registrados en el lóbulo deposicional (media= 3,8 ms<sup>-1</sup>; máximas= 5,0 ms<sup>-1</sup>) y en la parte posterior a la línea de *foredune* (media= 3,9 ms<sup>-1</sup>; máximas= 4,9 ms<sup>-1</sup>), consolidando este último dato la teoría de que la presencia de una franja de *foredune* bien desarrollada supone una disminución de la velocidad del viento incidente en superficie.

13 momentos diferentes de muestro se perciben diferencias a tener en cuenta (Tabla I y Fig. 4). En términos generales las mayores tasas de sedimentación se dan, y con diferencias substanciales, en el grupo TC, localizado en el límite superior del *blowout*, justo al inicio del lóbulo deposicional, con una captación total acumulada de 263 kg m<sup>-1</sup>. Por lo que hace a la primera línea, el transporte captado fue, en términos generales, superior en el grupo TA, localizado en el límite superior de la playa emergida, con un cómputo global de 51 kg m<sup>-1</sup>. Finalmente, las menores cantidades de sedimentación fueron registradas por el grupo TB, situado en la parte posterior a la *foredune*, y con un cómputo de 33,71 kg m<sup>-1</sup>.

	TA	TB	TC
<b>Momento</b>	Valores en kg m <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>		
1	5,14	0,99	41,41
2	6,13	0,92	42,64
3	16,62	11,13	46,46
4	15,71	16,02	42,17
5	6,40	3,43	46,95
6	0,71	0,88	28,21
7	0,16	0,15	5,61
8	0,05	0,07	3,00
9	0,04	0,05	2,49
10	0,03	0,03	1,81
11	0,01	0,01	0,54
12	0,01	0,035	1,494
13	0,006	0,009	0,268

TABLA I. Tasas de sedimentación en cada uno de los grupos de trampas dispuestas a lo largo de cada momento de muestreo.

Si el análisis se centra en la distribución sedimentaria registrada a lo largo del experimento en

## DISCUSIÓN

La presencia de una primera línea de dunas (*foredune*) bien desarrollada se postula como factor clave para disminuir las tasas de transporte de sedimento desde la playa emergida (zona de máximo interés social y económico) hacia el interior del complejo de dunas. De los resultados presentados en este trabajo se percibe como la presencia de una *foredune* en la zona estudiada supone una disminución de la velocidad del viento incidente una vez el flujo interdece con la topografía de la primera línea de duna. En consecuencia, la tasa de sedimentación en la parte posterior a la *foredune* es notablemente inferior puesto que ésta, junto con la presencia de vegetación herbácea y aprovechando la disminución del flujo eólico, ejercen de barrera de retención sedimentaria, evitando así el transporte de arena hacia las partes interiores del sistema.

Otro factor que debe ser descatacado se centra en que la presencia de morfologías *blowout* a lo largo de la primera línea de dunas también incrementa la vulnerabilidad erosiva de la playa.

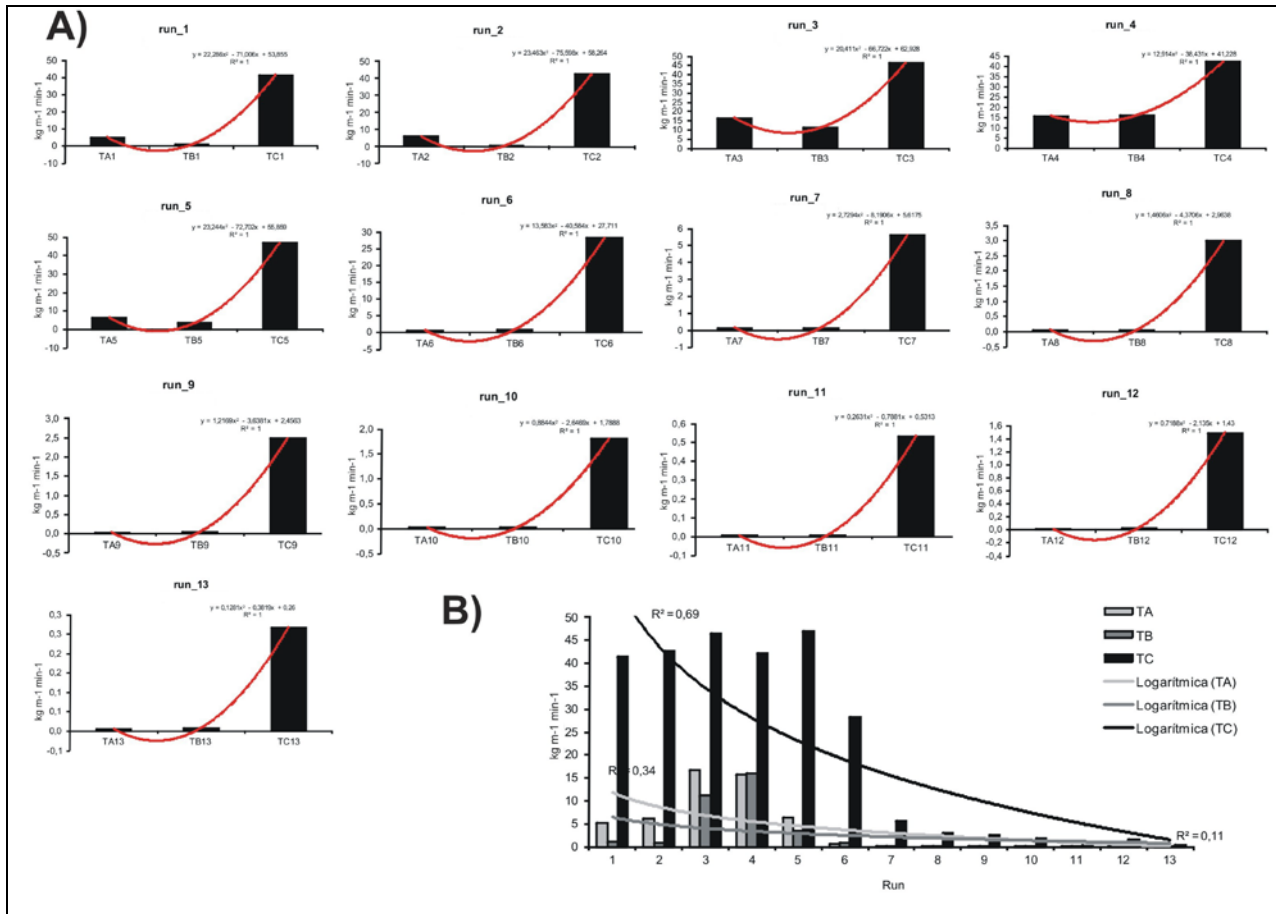


FIGURA 4. Distribución espacial y temporal de la tasa de sedimentación para cada uno de los grupos de trampas de sedimento dispuestas en la experimento de campo.

La topografía derivada de estas morfologías, en forma de corredor, supone una canalización del flujo eólico y un incremento sustancial de su velocidad gracias a la presión estática de la propia topografía. Esto, sin duda, también tiene consecuencias en tanto al transporte sedimentario y a las tasas de erosión, generando altos índices de transporte de sedimento que, procedente de la playa alta y la primera línea de dunas, termina sedimentando en el flanco interior del sistema (normalmente formando lóbulos de deposición).

Por todo ello, es muy importante que exista una primera línea de dunas bien conservada en los sistemas playa-duna. Ésta ayudará a que los patrones de erosión disminuyan desde la playa hacia el interior, hecho que, en lugares como las Illes Balears, disminuiría los problemas erosivos en sus puntos de máximo interés económico y social.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha beneficiado de la ayuda de una beca de investigación (FPI) otorgada a Miquel Mir Gual por la *Direcció Gral. d'Universitats, Recerca i Transferència del Coneixement del Govern de les Illes Balears*. Se agradece la ayuda de Thomas A. G. Smyth en la creación de los modelos CFD.

#### REFERENCIAS

Hugenholtz, C.H. y Wolfe, S.A. (2009): Form-flow interactions of an aeolian saucer blowout. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 919-928.

Mir-Gual, M. (2014): Anàlisi, caracterització i dinàmica de les formes erosives blowout en sistemes dunars de Mallorca i Menorca (Illes Balears). Tesis Doctoral. UIB.

Mir-Gual, M., Pons, G.X., Martín-Prieto, J.A., Roig-Munar, F.X. y Rodríguez-Perea, A. (2013): Geomorphological and ecological features of blowouts in a western Mediterranean coastal dune complex: a case study of the Es Comú de Muro beach-dune system on the island of Mallorca, Spain. *Geo-Marine Letters*, 33: 129-141.

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 of Coastal Research*, SI56: 1284-1288.

Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Rodríguez-Perea, A., Pons, G.X. 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): 1488-149

