

## Análisis evolutivo de la morfología dunar de la Pletera (Girona, Catalunya) mediante sensores Lidar y fotográficos (2010-2018)

### *Evolutionary analysis of dune morphologies in la Pletera beach (Catalonia, Spain) using Lidar and photographs (2010-2018)*

F. X. Roig-Munar<sup>1,3</sup>, R. Altura<sup>2</sup>, S. Ramos<sup>2</sup>, C. García-Lozano<sup>3</sup>, J. Pintó<sup>3</sup>, J. A. Martín-Prieto<sup>1</sup>, A. Rodríguez-Perea<sup>4</sup>, B. Gelabert<sup>5</sup> y Vicent, J.<sup>4</sup>

1 Investigador independiente. Consultor ambiental. Carritxaret 18.6, es Migjorn Gran, Menorca 07749. xiscoroig@gmail.com

2 Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Passeig del Port, s/n, Espigó de Llevant, 17258 L'Estartit, Girona. araltno@gencat.cat

3 Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP). Universitat de Girona. Plç Ferrater Mora, 1 17041-Girona.

4 Dpto. de Geografía, 5, Dpto. de Biología. Universitat de les Illes Balears, Carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca.

**Resumen:** Se han realizado diferentes campañas de seguimiento mediante vuelos dron sobre el sistema dunar de la Pletera (Girona, Catalunya) para valorar los resultados de las campañas de gestión del sistema playa-duna mediante captadores de interferencia eólica y revegetación, basados en criterios geomorfológicos. Se ha realizado un seguimiento de la retención sedimentaria mediante 3 vuelos dron y la comparación con el Lidar 2010, previo a las gestiones de retención, con el objetivo de poder trazar una evolución volumétrica del sistema y su relación con las técnicas utilizadas de gestión y planificación. El volumen sedimentario medio recuperado y retenido ha sido de 161.893 m<sup>3</sup>, con un aumento de la cota playa-duna de 2,79 m. Los resultados facilitan una visión detallada de la evolución morfoecológica del sistema playa-duna y su relación con parámetros de gestión.

**Palabras clave:** Sistemas playa-duna, geomorfología, gestión dunar, Lidar, dron.

**Abstract:** *A set of monitoring campaigns have been carried out using unmanned aerial vehicle (UAV) in la Pletera dune system (Girona, Catalonia) to assess the effects of sand traps and revegetation using geomorphological criteria. In order to quantify the sedimentary gains during the management actions, the volumetric obtained from three UAV flights using RGB sensors has been compared with the volumetric from a Lidar flight before the retention traps. The mean sedimentary volume recovered and retained was of 161.893 m<sup>3</sup>, with an increase in the beach-dune elevation of 2.79 m. The results provide a detailed view of the morphoecological evolution of the beach system and its relationship with management parameters.*

**Key words:** *Beach-dune system, geomorphology, dune management, Lidar, dron.*

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas playa-duna de la Costa Brava han sufrido a lo largo de los años importantes procesos erosivos asociados a la interacción de carácter antrópico, como procesos de ocupación del medio litoral y fluvial que han modificado el sistema, ya sea de forma puntual o irreversible (Roig-Munar et al., 2018). Esta ocupación ha reducido su extensión y modificado la estructura de los sistemas dunares, y condicionando una evolución de carácter regresivo, tendiendo estos hacia la degradación.

## ÁREA DE ESTUDIO

En los años 80 se inició el proceso de urbanización de la Platera (Fig. 1), afectando al sistema dunar, proyecto que posteriormente fue abortado. El sistema playa-duna se convirtió en un espacio de connotaciones urbanas, con una elevada frecuentación, falta de ordenación y de gestión, dando lugar a procesos erosivos de carácter degenerativo del sistema dunar delantero, llegando a un estadio 5 de carácter regresivo (Hesp, 2002) y acelerando la desaparición del sistema.

En el año 2009 se establecen los protocolos de gestión de playas, y es a partir del año 2011 que se inician las primeras actuaciones de gestión sostenible mediante el uso de retentores de arena (Miller et al., 2001), la siembra de vegetación herbácea con el objetivo de fijar las morfologías y la reordenación de usos (Roig-Munar et al., 2018).

## OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo del trabajo es el análisis de la evolución morfológica del sistema mediante el uso de vuelos dron y Lidar para determinar los resultados obtenidos mediante retentores y revegetación en las zonas de playa alta y *foredune* (Fig. 2). Con la finalidad de establecer las morfologías y los volúmenes retenidos asociados a las campañas de retentores se realizaron tres vuelos dron (2016, 2017 y 2018) que se comparan con el vuelo Lidar de 2010, estado primogénito del sistema sin medidas de intervención sostenible, permitiendo establecer una evolución espacio temporal del conjunto del sistema de la Pletera y su relación con las medidas aplicadas.



FIGURA 1. Ubicación del sistema dunar de la Pletera, Baix Empordà, Girona, Catalunya.



FIGURA 2. Trampas de retención sedimentaria colmatadas en la playa alta.

## RESULTADOS

Entre 2009-2018 se han instalado un total de 60 trampas, a lo largo de los años, con más de 20 campañas de reposición y reparación a medida que las trampas iban reteniendo sedimento. Estas trampas median entre 15 a 40 m aproximadamente, y presentaban potencias de 90 cm y porosidades de entorno los 50 y 60%. La orientación de las trampas ha sido entre los 90 y 105° y han sido modificadas en función de las tasas de retención anuales. Cada campaña anual constaba de 900 m lineales más arreglos, sumando entorno los 1900 m de trampas instaladas entre 2009 y 2018. En base a los volúmenes de retención se han sembrado 7550 plantones de *Elymus farctus* y 2000 plantones de *Ammophila arenaria* mediante criterios geomorfológico en las zonas de sotavento de las morfologías recuperadas (Fig. 3), basándose en criterios geomorfológicos de retención y cohesión sedimentaria (Roig-Munar et al., 2018). Estas tareas de trapeo y revegetación se encuentran asociadas a el perímetro del sistema dunar, con la instalación de 1670 m de cuerda y a la reordenación de usos y accesos para no afectar a la playa alta y al sistema dunar gestionado.



FIGURA 3. Siembras basadas en criterios geomorfológicos para acelerar la cohesión y creación de neoformas.

La evolución del sistema, por lo que respecta a sus áreas y volúmenes (2010-2018), se establece en 4 períodos de análisis (Fig. 4, Tabla 1). En la Figura 4 observamos como las medidas de trapeo y revegetación, con la ayuda de la reordenación de usos, han permitido la retención de importantes volúmenes sedimentarios, especialmente en la zona S de la Pletera, estos volúmenes de formas dunares y playa alta también permiten mayor disipación de los temporales.

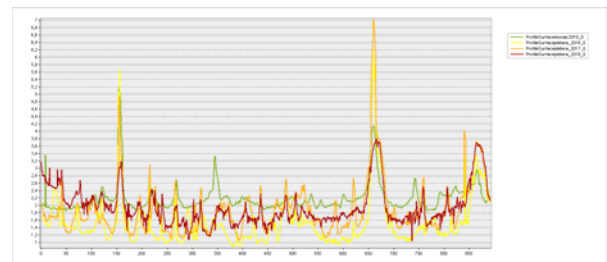


FIGURA 4. Volúmenes sedimentarios de ganancias asociados a las trampas de retención y tareas de revegetación.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos mediante los 4 vuelos analizados, donde los valores expuestos son:

- 1.- Área 2D representa el área de trabajo de cada polígono de proyección horizontal respecto a la superficie plana.
- 2.- Área 3D corresponde al área ocupada de la superficie teniendo presente las características 3D de la superficie, permitiendo la valoración de los volúmenes retenidos asociados a las trampas.
- 3.- Volumen que representa la arena, en este caso retenido en volúmenes, respecto a la proyección, y
- 4.- H, valor referido a la altura media del volumen respecto al valor 2D.

En base a los resultados obtenidos (Fig. 4, Tabla 1) podemos establecer un análisis diferencial por cada uno de los vuelos realizados y su relación con las medias de gestión aplicadas en el sistema playa-duna:

Año 2010: Partimos de un escenario morfoecológico degenerativo del conjunto del sistema playa-duna, donde las morfologías dunares de playa alta han desaparecido y el cordón dunar delantero se presentan de forma relictual con escasa potencia, abundantes morfologías erosivas blowout y escasa

colonización vegetal. Según la clasificación de Hesp (2002), y comprobado con trabajo de campo y el vuelo Lidar 2010, es un estadio 5. Este escenario permite marcar la referencia a partir del cual se superpondrán los vuelos dron para evaluar su evolución y recuperación. Partimos de un escenario con una altura de playa de 1,2 m, con un volumen de 70.808 m<sup>3</sup> en una área analizada de 59.487 m<sup>2</sup> donde los procesos dominantes son de tipo erosivo.

Año	Área 2D	Área 3D	Volumen	H
2010	57.762	59.487	70.808	1,226
2016	59.465	63.369	94.403	1,588
2017	59.449	62.819	97.185	1,635
2018	59.112	60.558	161.893	2,739

Tabla 1. Resultados de los diferentes vuelos realizados en la Pletera.

Año 2016: Las tareas de retención sedimentaria llevan varios años aplicándose y el sistema presenta una recuperación importante de los trenes dunares tipo barjanes de playa alta que presentan cohesión entre los trenes internos y los sectores de foredune (Fig. 5). Las morfologías de foredunes presentan recuperación y no se detectan morfologías erosivas tipo blowout, ya que han sido selladas y colonizadas por vegetación. En relación a las imágenes de referencia de 2010 el sistema presenta un estadio 3 según Hesp (2002), y el escenario del sistema presenta una leve recuperación de cota de playa, con una potencia de 1,58 m, con un volumen de 94.403 m<sup>3</sup> en un área analizada de 63.369 m<sup>2</sup>. Cabe destacar que en este período de actuación (2009-2016) la playa sufrió diferentes temporales de tipo erosivo que debilitaron las trampas antes de su sedimentación y la playa presentaba un perfil negativo mar-tierra no presentando una estructura playa-duna estable. Así mismo las primeras tareas de revegetación no dieron buenos resultados hasta que se aplicaron criterios de tipo morfológico en su siembra.

Año 2017: El sistema presenta una línea evolutiva de carácter estable hacia su renaturalización, donde las morfologías delanteras presentan elevada cohesión con las formas de playa alta, y se dan importantes ganancias de volumen y potencia de playa alta que permiten un perfil de mayor defensa de esta frente a los temporales de incidencia directa. Las trampas de retención ya se instalan sobre las crestas de las trampas sedimentadas o bien en las colas de sombra, y se realizan tareas de revegetación en la zona de cohesión de morfologías dunares y sombras de disposición sedimentaria (Figs. 2 y 3). El sistema presenta un estadio 2 según Hesp (2002), y el escenario del sistema presenta mayor recuperación de cota de playa en relación al 2010 y 2016, con una potencia de 1,63 m, con un volumen de 97.185 m<sup>3</sup> en una área analizada de 62.819 m<sup>2</sup>, por tanto esta recuperación volumétrica refleja la tendencia clara hacia la renaturalización del sistema emergido.

Año 2018: El sistema se encuentra en un estadio morfoecológico 2, según Hesp (2002), aunque difícilmente puede llegar al estadio óptimo de 1 a corto plazo debido a las características de su cordón de foredune (Fig. 6). Se refuerzan los metros instalados de trampas y se incrementan las tareas de revegetación en la zona de cohesión de morfologías dunares y sombras de disposición sedimentaria. El sistema presenta un estadio 2 según Hesp (2002), y el escenario del sistema presenta mayor recuperación de cota de playa en relación al 2010 y 2016, con una potencia de 2,73 m, con un volumen de 161.893 m<sup>3</sup> en un área analizada de 60.558 m<sup>2</sup>, por tanto, esta recuperación volumétrica refleja la tendencia clara hacia la renaturalización del sistema emergido.

## CONCLUSIONES

El comportamiento evolutivo del sistema representaba una tendencia de tipo regresivo hasta la década de 2000, debido a una explotación del sistema sin aplicación de medidas de gestión para su recuperación, con tendencia hacia su desaparición. Los resultados obtenidos para el conjunto del sistema playa-duna permiten observar un comportamiento de recuperación vinculado a la instalación de trampas y revegetación dunar entre el período 2009-2018, asociado a actuaciones de gestión sostenibles sobre el frente dunar, que ha paliado efectos de reactivación en el interior del sistema dando lugar a la recuperación de su foredune basándose en criterios geomorfológicos.

El uso de vuelos dron y su comparación con el Lidar 2010 como base, permiten valorar las medidas de instalación y revisión de trampas de interferencia eólica sobre los frentes dunares erosionados, permitiendo pasar de estadios degenerativos con tendencia a su desaparición a estadios de estabilidad y recuperación que permiten la recuperación de potencias de playa, mayor perfil disipativo, y por ende, mayor resiliencia hacia el impacto directo de los temporales marinos en la playa emergida debido a la generación de volúmenes asociados a intervención (Dong et al., 2006). La evolución de sistema playa-duna (2010-2018) permite observar, analizar y corregir las medidas de gestión aplicadas en el conjunto del sector dunar que presenta una tendencia hacia su renaturalización y extrapolarlo a otros espacios asociados al Baix y Alt Empordà. El coste de cada metro cúbico retenido ha sido de 0,016 € mediante técnicas geomorfológicas que no han afectado al sistema.

## REFERENCIAS

- Dong, Z., Qian, G., Luo, W., Wang, H., 2006. Threshold velocity for wind erosion: the effects of porous fences. *Environ. Geol.* 51, 471-475



Hesp, P. A. (2002). Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48, 245–268.

Miller, D. L., Thetford, M. y Yager, L. (2001). Evaluation of sand fence and vegetation for dune building following overwash by Hurricane Opal on Santa Rosa Island, Florida. *Journal of Coastal Research*, (17), 936-948.

Roig-Munar, F. X. (2002). Análisis de capacidad de carga en los espacios litorales, calas y playas, situados en áreas naturales de especial interés de la isla de Menorca. In P. Pumares Fernández, M. A. Asensio Hita, & F. Fernández Gutiérrez (Eds.), *Turismo y transformaciones urbanas en el siglo*

XXI (pp. 325–335). Almería: Universidad de Almería.

Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. Á., Pintó, J., Ramos, S., Vicens, J., Rodríguez-Perea, A., ... Gelabert, B. (2018). Análisis de la evolución de los sistemas dunares del Alt y Baix Empordà (Costa Brava, Catalunya) mediante el uso de variables geomorfológicas y de gestión. In C. García, L. Gómez-Pujol, E. Morán-Tejeda, & R. J. Batalla (Eds.), *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos* (pp. 169–174). Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears, Sociedad Española de Geología.



FIGURA 5. Imagen capturada con vuelo dron georeferenciado realizado en 2016 donde apreciamos las sobras de deposición sedimentaria asociadas a las trampas.



FIGURA 6. Imagen capturada con vuelo dron georeferenciado realizado en 2018 donde apreciamos las morfologías de playa alta tipo barjanes.