

Comparación de la dinámica dunar entre las formaciones situadas en los hemideltas norte y sur del río Ebro

Comparison of dune dynamics between formations located in the northern and southern hemideltas of the Ebro River.

I. Rodríguez-Santalla¹, D. Gómez¹, M. J. Sánchez², I. Montoya-Montes², T. Martín¹, S. Martín-Velázquez¹, F. Barrio³, J. Serra⁴, F. J. Gracia⁵

¹ Departamento de Biología, Geología, Física y Química inorgánica. ESCET. Universidad Rey Juan Carlos C/ Tulipán s/n 28933 Móstoles (Madrid) inmaculada.rodriguez@urjc.es

² Instituto de Oceanografía y Cambio Global IOCAG. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria Edificio de Ciencias Básicas Campus de Tafira 35017 Las Palmas

mariajose.sanchez@ulpgc.es; isabel.montoya@ulpgc.es

³ Departamento de Ingeniería Química y Combustibles ETSIMM. Universidad Politécnica de Madrid C/ Alenza 4 28003 Madrid

⁴ Facultat de Ciències de la Terra/ Dept, Dinàmica de la Terra i de l'Oceà. Universitat de Barcelona C/ Martí i Franquès s/n 08028 Barcelona jordi.serra@ub.edu

⁵ Dpto. de Ciencias de la Tierra; Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz 11510 Puerto Real javier.gracia@uca.es

Resumen: Uno de los elementos que identifica al delta del Ebro es la presencia de campos dunares más o menos extendidos en la práctica totalidad de su litoral. Si bien su desarrollo y conservación se encuentran muy amenazados, en las flechas que limitan al delta por el norte y por el sur, su presencia es característica. Desde el punto de vista ambiental, una de las cuestiones más relevantes es la diferencia que existe entre los campos dunares de ambas formaciones. En el hemidelta norte encontramos el campo de dunas activo más importante del Mediterráneo, mientras que en el hemidelta sur las formaciones dunares muestran una limitada actividad, y están colonizadas por vegetación. El análisis de los perfiles obtenidos por medio de GPR (Ground Penetrating Radar) demuestran esta diferencia: mientras que en el hemidelta norte se observan cambios entre los reflectores que se pueden asociar a estructuras sedimentarias de baja escala, en los radargramas del hemidelta sur los reflectores son paralelos y continuos lateralmente, demostrando un crecimiento en horizontal, propio de las foredunes.

Palabras clave: Campo dunar, Georradar, Delta del Ebro.

Abstract: One of the characteristic elements of the Ebro delta is the presence of dune fields in almost its entire coastline. Even though their development and conservation are threatened, the dune fields are widespread in the spits that limit the delta northwards and southwards. One of the most relevant issues is the difference between the dune fields of both formations. While in El Fangar spit (North of Ebro River) it is possible to find the most important active dune field of the Mediterranean area, in la Banya (Southern hemi-delta) dune formations show a limited activity, being colonized by vegetation. Profiles obtained from GPR (Ground Penetrating Radar) show this difference: El Fangar spit dunes present changes between reflectors that can be associated with small scale sedimentary structures, whereas in GPR profiles of La Banya spit the reflectors are parallel and continuous laterally, showing horizontal growth, characteristic of the foredunes.

Key words: Field Dune, GPR, Ebro Delta.

INTRODUCCIÓN

Las formaciones dunares constituyen un elemento característico de playas arenosas, en las que existe un excedente de arena y las condiciones de clima marítimo favorecen su formación. Las playas que bordean las dos flechas que limitan el delta del Ebro (El Fangar, al Norte; y Los Alfaques, al Sur), cumplen estas condiciones, y en ellas se han desarrollado sendos campos dunares los cuales, aun perteneciendo al mismo sistema deltaico, presentan características geomorfológicas diferentes. El río Ebro transcurre por el centro de la planicie deltaica, dividiendo el cuerpo

sedimentario en dos hemideltas (Fig. 1). El clima marítimo del delta del Ebro está caracterizado por un entorno micromareal, donde el régimen medio presenta un periodo (T) de 3 a 4 s y la altura significativa de ola (Hs) se encuentra en torno a 0,8 m (Rodríguez et al., 2011). Las direcciones de transporte están fragmentadas desde el cabo Tortosa, lugar en el que se encuentra la desembocadura. La configuración de ésta provoca que el escaso material que expulsa el río sea dirigido inicialmente hacia el Norte, acumulándose en la punta de la flecha de El Fangar; pero, a su vez, los oleajes del Este, los de mayor energía, modelan el

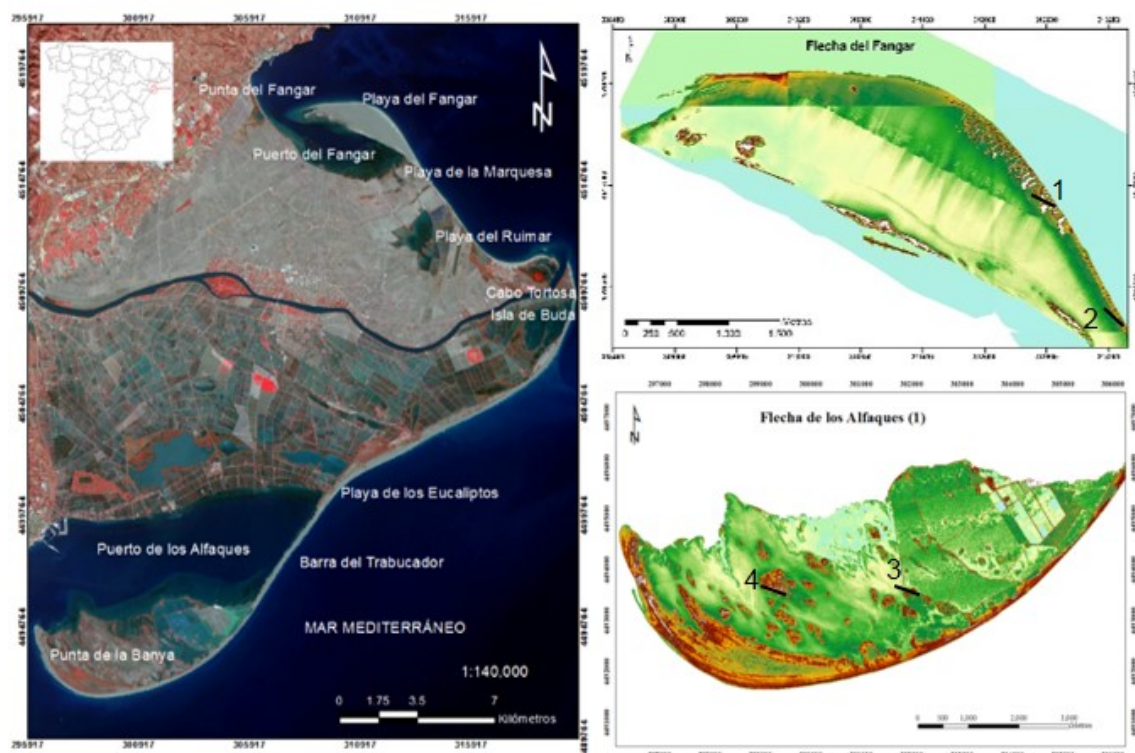


FIGURA 1. Situación del Delta del Ebro y zonas de estudio y posición de los perfiles de georradar (numerados de 1 a 4)

frente deltaico, de forma que parte del sedimento también toma dirección Sur, alimentando las playas del hemidelta sur. Esta dinámica condiciona la distribución de zonas erosivas y progradantes, y a grandes rasgos, las únicas zonas que actualmente presentan sedimentación, son las dos flechas, mientras que el resto del litoral deltaico se considera que se encuentra en retroceso con mayor o menor intensidad, según las zonas. En cuanto al régimen de vientos, presenta un espectro multidireccional, siendo la dirección Norte la más recurrente. Sánchez (2008) estimó el transporte eólico potencial medio anual próximo a los $80 \text{ m}^3/\text{m}$ en dirección SE, paralelo a la costa en el hemidelta norte. En el hemidelta sur se suma la acción de los vientos del SO, que permiten la formación de los campos dunares y el desarrollo de la vegetación (Sánchez et al., 2011).

ZONA DE ESTUDIO: CAMPOS DUNARES DE LAS FLECHAS DE LA BANYA Y DEL FANGAR

Mallada (1889) (en Sánchez et al., 2011) describió el litoral deltaico del río Ebro como un sistema bordeado por un cordón dunar continuo. Actualmente, sólo quedan restos de este cordón dunar en puntos muy localizados, y en la costa de las dos flechas, las cuales están protegidas debido a su alto valor ambiental. Aun perteneciendo a un mismo sistema deltaico, estos campos dunares presentan diferencias significativas en función de la orientación de la costa en la que se desarrollan. Mientras que las dunas de la Punta de la

Banya y las de la desembocadura están fijadas en su mayor parte por vegetación, las dunas de la costa externa de la Flecha del Fangar son dunas de tipo barján principalmente, sin vegetación y con un índice de actividad alto (Serra et al., 2012). Las características de estos campos dunares se han estudiado ampliamente por Sánchez (2008), Sánchez (2014) y Barrio-Parra (2014, 2016a, 2016b). Las dos flechas tienen un origen similar, formadas por la acreción de sedimentos procedentes principalmente de la erosión del frente deltaico que son transportados por las corrientes longitudinales. Las dos flechas están orientadas hacia el O, pero la zona de acumulación del sedimento se enfrenta al viento del Norte de forma diferente en cada una de las flechas: mientras que en el Fangar alimenta y mueve las dunas situadas en su costa externa, en el hemidelta sur se produce la expulsión de la arena hacia mar. Es durante los meses de primavera y verano cuando dominan los vientos más moderados del SO modelando las dunas poco desarrolladas del hemidelta sur.

METODOLOGÍA

Uno de los principales métodos para reconocer la estructura interna de los cuerpos dunares, e inferir su dinámica es el GPR (*Ground Penetrating Radar*). Esta técnica se ha aplicado en el Fangar (Rodríguez-Santalla et al., 2009; Gómez Ortiz et al., 2009), y

posteriormente en la Banya (Pérez, 2016). La posición de los perfiles analizados se muestra en la Figura 1.

Los datos de este estudio fueron recogidos con un equipo SIR 3000 desarrollado por Geophysical Survey Systems, Inc. (GSSI). Los perfiles de GPR se tomaron con dos antenas apantalladas, una de 200 MHz de frecuencia central para la zona de El Fangar, donde la mayor altura de las dunas hace precisa una mayor profundidad de penetración de las ondas electromagnéticas; y otra de 400 Mhz en la zona de la Banya donde la altura de las estructuras es menor, y por tanto también la profundidad de estudio. Todos los perfiles han sido realizados en modo continuo con un intervalo de distancia entre trazas de entre 0.1 m y 0.05 m y un número total de 1024 muestras por scan. La topografía a lo largo del perfil fue obtenida por medio de GPS diferencial, y fue utilizada para corregir la topografía en el posterior procesamiento de los datos. En función de la altura de las dunas, la ventana de tiempos utilizada estuvo comprendida entre 60 y 120 ns de tiempo doble. La conversión de tiempos dobles a profundidades se hizo mediante la calibración del reflector correspondiente al nivel freático con la profundidad del mismo medida en campo a partir de pequeñas calicatas, obteniendo una velocidad media de propagación de las ondas electromagnéticas de 0.15 m/ns, valor compatible con datos bibliográficos para arenas secas. El procesamiento consistió en corrección del tiempo cero, diversos filtros ('devow', paso-banda,

'background removal'...), corrección topográfica y amplificación de la ganancia.

RESULTADOS

En la Fig. 2 se muestra la interpretación de los radargramas. Los perfiles 1 y 2 fueron tomados en El Fangar, y el nivel freático se encontró a 0,7 m de profundidad. Los perfiles 3 y 4 corresponden a la Banya, encontrándose el nivel freático a una profundidad de 0,85 m.

Los perfiles 1 y 2 fueron descritos por Rodríguez et al. (2009). El perfil 1 muestra dos tipos de facies. Las más profundas, presentan reflectores de bajo ángulo y continuos lateralmente mostrando acreción vertical, y por encima se encuentran reflectores marcando una estratificación cruzada en dirección SE causada por la migración del cuerpo dunar. El perfil 2 se tomó sobre dunas muy próximas a la orilla, afectadas por el oleaje en momentos de tormenta, por lo que su altura es más baja, y los reflectores presentan truncaciones debidas a los momentos en los que son abatidas por el oleaje. El perfil 3 presenta una disposición de reflectores similar al perfil 1, salvo que la estratificación cruzada se dirige hacia el NO. El perfil 4 muestra reflectores muy continuos lateralmente, casi horizontales o con estratificación de muy bajo ángulo mostrando acreción vertical del foreset.

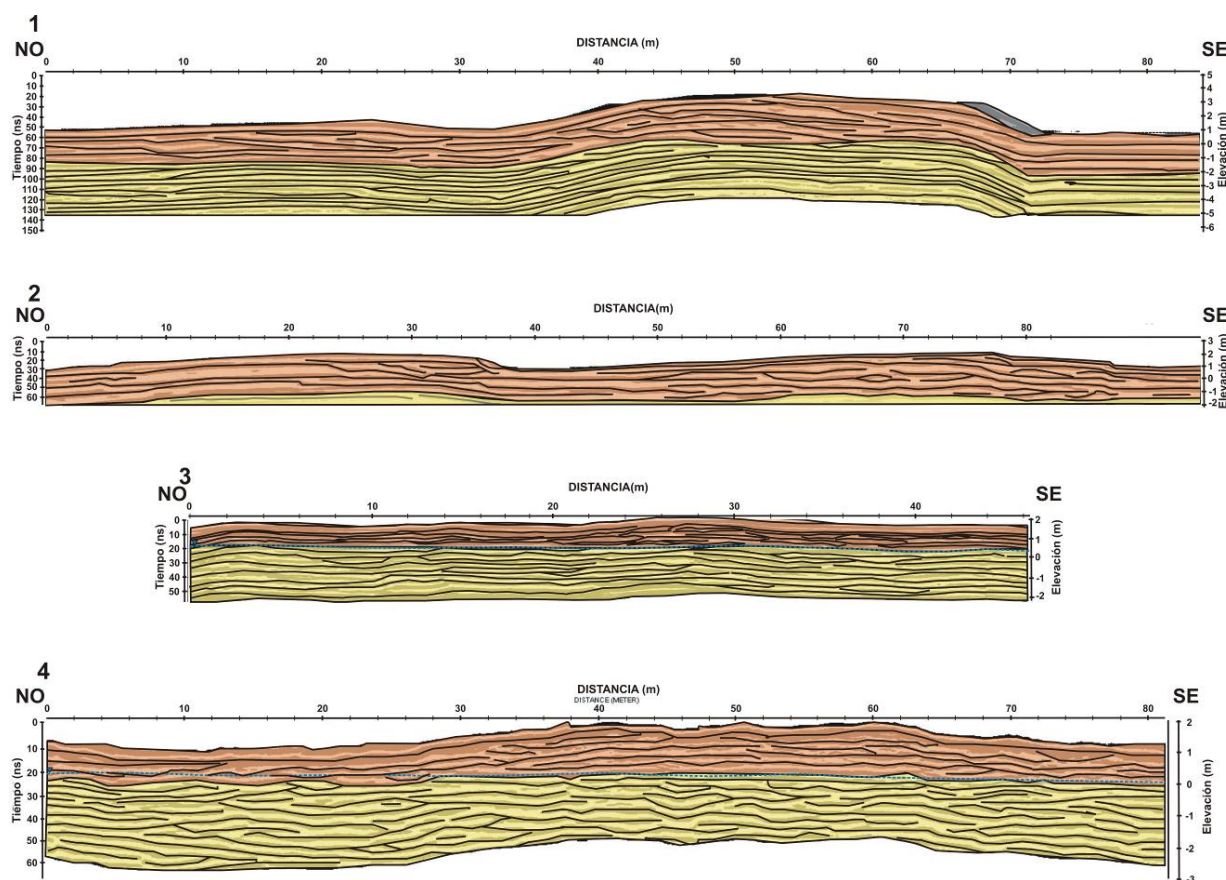


FIGURA 2. Interpretación de los radargramas tomados en La Flecha del Fangar (perfiles 1 y 2) y en La Banya (perfiles 3 y 4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La comparación de los radargramas obtenidos en ambas flechas permite establecer las diferencias entre los campos dunares instalados en ambas flechas. En los radargramas presentados es posible distinguir la dinámica eólica que se ha descrito anteriormente. En el perfil 1 se muestra cómo el viento de dirección N provoca la migración de las dunas hacia el SE mientras que en La Banya son los vientos de componente S los que modelan el sistema dunar, tal y como queda registrado en la estratificación cruzada en dirección NO del perfil 3.

Por otra parte, la curvatura de la línea de costa en El Fangar provoca que las dunas situadas al sur de la flecha (perfil 2), estén más expuestas a los oleajes de procedencia E, que son los que mayor intensidad presentan, mientras que en La Banya, dada la configuración de la costa, estos oleajes resultan menos agresivos, lo que favorece que se produzcan las condiciones favorables para el desarrollo de vegetación sobre los cuerpos dunares. Los perfiles tomados en estas dunas (perfil 4) muestran reflectores continuos de acreción vertical, propios de las foredunes (Baumann et al., 2014).

La descripción de los perfiles tomados en ambos hemideltas confirma la dinámica de los cuerpos dunares, la cual es resultado no solo de los agentes que actúan, viento y oleaje, sino también, y de forma muy notable, de la orientación de la costa deltaica. Es reseñable la capacidad de las técnicas de GPR, especialmente en zonas protegidas, como es el caso del delta del Ebro, debido a su escasa intervención en el medio, y a la calidad y fiabilidad de los datos que registran. Esta información permite formular modelos del comportamiento dinámico de las dunas al objeto de establecer un acercamiento a la evolución futura y actuar en consecuencia aplicando políticas de gestión y conservación de los espacios dunares.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el proyecto de Investigación “Cuantificación y contribución del transporte eólico en los procesos dinámicos y ambientales en el delta del Ebro. Aplicación a su gestión integrada y a la conservación de los ambientes marginales”, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y por el proyecto Computer Vision and Image Processing (CVIP), financiado por la Universidad Rey Juan Carlos y el Banco de Santander.

REFERENCIAS

- Barrio-Parra, F., Rodríguez-Santalla (2014). A free cellular model of dune dynamics: Application to El Fangar spit dune system (Ebro Delta, Spain). *Computers & Geosciences*. 62. 187-197.
- Barrio-Parra, F. (2016a): Estudio del intercambio sedimentario playa-duna en la costa externa de La Flecha del Fangar, Delta del Ebro. Tesis Doctoral, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.
- Barrio-Parra, F., Rodríguez-Santalla (2016b). Cellular automata to understand the behaviour of beach-dune systems: Application to El Fangar Spit active dune system (Ebro delta, Spain). *Computers & Geosciences*. 93. 55-62
- Baumann, J., Bano, M., Dujardin, J.R., Robin, N. (2014): Imaging the Internal Architecture and Explain the Dynamics of Foredunes by GPR Investigations (Normandy France). Conference: 20th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, At Athens, Greece, 14-18.
- Gómez Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Rodríguez, I., Sánchez, M.J., Montoya, I. (2009): The internal structure of modern barchan dunes of the Ebro River Delta (Spain) from ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 68 (2): 159 – 170.
- Pérez, C. (2016): Análisis de los cambios geomorfológicos ocurridos en la Flecha de los Alfaques. Trabajo fin de licenciatura. Universidad Rey Juan Carlos.
- Rodríguez-Santalla, I., Sánchez-García, M. J., Montoya-Montes, I., Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Serra-Raventós, J. (2009): Internal structure of the aeolian sand dunes of El Fangar spit, Ebro Delta (Tarragona, Spain), *Geomorphology* 104 pp 238–252.
- Sánchez, M.J. (2008): Evolución y análisis morfodinámico del campo dunar de la Flecha del Fangar (Delta del Ebro). Tesis Doctoral, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.
- Sánchez-, M. J., Rodríguez, I. y Montoya, I. (2011): Las dunas del Delta del Ebro, En Sanjaume, E., Graicas, F.J. (eds.). *Las dunas en España*, Sociedad Española de Geomorfología, pp 207-226.
- Sánchez, V. (2014): Estudio de la evolución de Flecha de los Alfaques (Delta del Ebro) por medio de datos lidar. Trabajo fin de licenciatura. Universidad Rey Juan Carlos.
- Serra Raventós, J, Rodríguez, I. Sánchez, M. J y Montoya, I. (2012): Delta del Ebro: papel del sistema dunar frente a la regresión deltaica (actuaciones y medidas paliativas). En: Rodríguez-Perea, A., Roig, X., Pons, G.X. y Martín, J.A. (eds.). *La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa*: Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 19: 237-242. Palma de Mallorca.