

Evolución reciente de geformas erosivas inducidas por impacto urbano-turístico en el interior de un sistema de dunas transgresivo árido (Maspalomas, islas Canarias)

Recent evolution of erosive landforms induced by urban-touristic impact inside an arid transgressive dune system (Maspalomas, Canary Islands)

L. García-Romero¹, A.I. Hernández-Cordero¹, I. Delgado-Fernández², P.A. Hesp³, L. Hernández-Calvento¹ y M. Viera-Pérez¹

¹ Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOCAG. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC. Parque Científico-Tecnológico de Taliarte, Calle Miramar, 121, 35214 Telde, Las Palmas, España. levi.garcia@ulpgc.es, hernandez.cordero@ulpgc.es, luis.hernandez.calvento@ulpgc.es.

² Department of Natural, Geographical & Applied Sciences, Edge Hill University, St Helens Road, Ormskirk, Lancashire L39 4QP, UK. delgadoi@edgehill.ac.uk.

³ Beach and Dune Systems (BEADS) Laboratory, School of the Environment, Flinders University, Faculty of Science and Engineering, Bedford Park, Adelaide, South Australia 5042, Australia. patrick.hesp@flinders.edu.au.

Resumen: El desarrollo urbano-turístico en el entorno de sistemas playa-duna conlleva, en ocasiones, cambios ambientales. Es el caso de las dunas de Maspalomas (Gran Canaria, islas Canarias), donde se ha desarrollado uno de los mayores complejos turísticos de España desde los años sesenta del siglo pasado, la urbanización Playa del Inglés. La construcción en una terraza alta sedimentaria (El Inglés) alteró el viento y el transporte sedimentario hacia el sur, acelerando el flujo eólico en este último sector. A sotavento de la terraza, se produjo una disminución del viento, del transporte eólico y el crecimiento de la vegetación. Desde la década de los noventa se han detectado procesos erosivos en el área de sombra eólica, apareciendo geformas *blowouts* o superficies con raíces exhumadas de especies vegetales (ej. *Cyperus capitatus*). En este trabajo se analiza la evolución de estas geformas erosivas en las últimas décadas utilizando fotografías aéreas históricas, ortofotos y modelos digitales de elevaciones obtenidos por fotogrametría digital o LiDAR. Los cambios de dos variables ambientales (volumen de sedimentos y densidad de la vegetación) son calculados. Los resultados muestran déficit sedimentario y aumento de la densidad vegetal en la zona residual activa. Se discuten factores eco-antrópicos que han producido estos cambios ambientales o características de las geformas estudiadas en comparación a otras regiones climáticas.

Palabras clave: cambios ambientales, sistema dunar transgresivo árido, vegetación dunar, impactos humanos, blowout

Abstract: Urban-tourist developments at beach-dune systems often induce environmental changes. This is the case of Maspalomas dunefield (Gran Canaria, Canary Islands) with one of the largest tourist resorts in Spain. The building of an artificial high terrace (El Inglés) from 1960s had a strong impact on local winds and sediment transport patterns. Buildings on the terrace deflect winds to the south and accelerate the rate of sediment transport as a result in the southern section of the dune field. Leeward of the terrace wind speed and aeolian transport decrease and vegetation cover and density increase. However, a series of erosive landforms can be identified in the terrace leeside, including blowouts and large areas with the exhumation of plant roots (mainly *Cyperus capitatus*). In this paper we analyze the evolution of these erosive landforms in the last decades using historical aerial photographs, orthophotos and digital elevation models obtained by digital photogrammetry and LiDAR. Changes in two environmental variables (sediment volume and vegetation density) are calculated. Results indicate a deficit in sediment supply and increase in vegetation density in the active residual zone. We discuss eco-anthropic factors that have produced these environmental changes and the characteristics of the Maspalomas erosive landforms compared to other climatic regions.

Key words: Environmental changes, arid transgressive dunes system, dune vegetation, human impacts, blowout

INTRODUCCIÓN

El Antropoceno se caracteriza por la alteración de los procesos naturales debido al desarrollo humano (Crutzen y Stoermer, 2000). En este contexto los ambientes dunares han sido ampliamente alterados en las últimas décadas, provocándose en ellos cambios ambientales (Jackson y Nordstrom, 2011). Especialmente en los sistemas de dunas litorales áridos,

de gran atractivo como recurso turístico por sus condiciones climáticas, están siendo sometidos a la ocupación urbano-turística de su entorno (Hernández-Calvento et al., 2014). A pesar de que son muchos los trabajos que han estudiado los procesos naturales y antrópicos en ambientes dunares, el impacto directo de las construcciones urbanas sobre los sistemas de dunas ha sido poco estudiado (Jackson y Nordstrom, 2011). Trabajos pioneros sobre esta temática particular están

siendo desarrollados en el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria), donde se ha verificado que la edificación de una terraza alta ha modificado la dinámica sedimentaria eólica en este sistema (Hernández-Calvento et al., 2014; Smith et al., 2017). Así, se han detectado perturbaciones regionales del flujo eólico, dando lugar a tres zonas geomorfológicas diferentes: por un lado, se detecta una zona de aceleración, al sur de la terraza; por otro, se identifican dos zonas de desaceleración, con distinto grado de estabilización sedimentaria y aumento de la cobertura vegetal (Hernández-Cordero et al., 2017). En la zona de sombra eólica (sotavento) de la citada terraza, se había detectado una geoforma erosiva, tipo cubeta de deflación (*blowout*), cuyos rasgos generales han sido descritos y comparados con otras geoformas semejantes en condiciones ambientales diferentes (Mir-Gual et al., 2015). Considerando estos antecedentes, el objetivo de este trabajo es analizar la evolución de ésta y de otras geoformas erosivas detectadas en el interior de la zona de sombra eólica del sistema de dunas de Maspalomas.

ZONA DE ESTUDIO

El sistema de dunas transgresivo árido de Maspalomas (360,9 has.), está situado al sur de la isla de Gran Canaria (Fig.1), desarrollándose sobre un fan-delta. La entrada de sedimentos al sistema y *foredune* se localizan en su playa oriental (El Inglés). El transporte sedimentario eólico es de dirección ENE-OSO, por lo que las arenas vuelven al mar por el sur del sistema (playa de Maspalomas). Una de sus características geomorfológicas más relevantes es la existencia de una terraza alta pleistocena en forma de cuña, en su límite nororiental. Desde la década de los sesenta del siglo pasado se ha venido construyendo, sobre esta terraza, uno de los mayores complejos turísticos de España (Domínguez-Mujica et al., 2011). Éste ha alterado el flujo de viento y, con ello, el transporte sedimentario, dando lugar a las tres zonas geomorfológicas antes mencionadas.

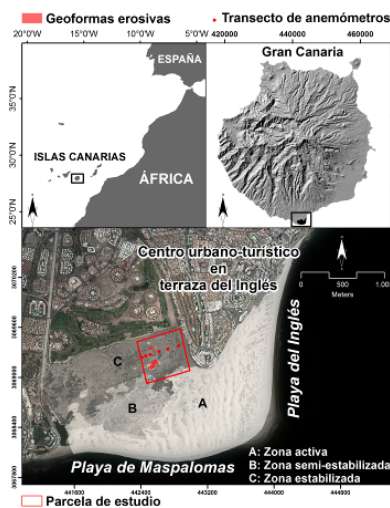


FIGURA 1. Sistema de dunas transgresivo árido de Maspalomas en Gran Canaria, parcela de estudio y geoformas erosivas detectadas.

METODOLOGÍA

Para analizar la evolución de las geoformas erosivas localizadas en la zona de sombra eólica, se delimitó una parcela de estudio de 27,76 has (Fig. 1). En ella se estudiaron dos variables: densidad de la vegetación (clasificada en cuatro categorías), y volumen de sedimento. La densidad de la vegetación (principalmente arbustiva) se obtuvo a partir del procedimiento desarrollado por García-Romero et al. (2014), haciendo uso de fotografías aéreas históricas, y ortofotos históricas y actuales. En el caso de las ortofotos, se utiliza la banda verde para equiparar el comportamiento de los niveles digitales a las fotografías aéreas históricas (García-Romero et al., 2014), y porque se trata de la región del espectro visible que mejor capta la información de la vegetación (no se dispone de infrarrojo cercano, IRC). De este modo se facilita la identificación de la vegetación (niveles bajos de reflectividad) con respecto a la arena (niveles altos de reflectividad), así como solventar problemas fenológicos por diferencias temporales.

Los volúmenes fueron calculados a partir de modelos digitales de elevaciones (MDEs) derivados de fotogrametría digital (1987 y 2003), LiDAR (2006, 2009 y 2011) y un vuelo dron fotogramétrico corregido a través de control de campo, con GPS-D, para 2017. Los volúmenes de las geoformas erosivas se calcularon sobre la superficie coincidente entre las diferentes fechas estudiadas.

Las geoformas erosivas fueron digitalizadas a partir de análisis visual, tomando como apoyo las fotografías aéreas históricas, ortofotos y MDEs para trazarlas con precisión a partir de líneas de rotura de pendiente y zonas de erosión (Tabla I).

TABLA I. Características de las fuentes de información utilizadas

Fuente	Años	Resolución espacial (m)
Fotografías aéreas históricas (IDE Gran Canaria; IDE Canarias-Grafcan S.A.)	1961 (1:5000)	0,25
	1977 (1:6500)	0,9
	1981 (1:4000)	0,15
Ortofotos (IDE Canarias-Grafcan S.A.; Instituto Geográfico Nacional, IGN)	1987, 2003, 2009, 2012, 2015	0,15 - 0,25
MDEs Restitución Fotogramétrica	1987, 2003	4
MDEs LiDAR y vuelo dron fotogramétrico (ficheros .las)	2006, 2009, 2011, 2017	1

TABLA II. Resultados de los cambios volumétricos en la parcela de estudio y en las diferentes geoformas erosivas detectadas. Cambios en la densidad vegetal en la parcela de estudio desde 1961 hasta 2017.

Zona	Vol.(1987) ¹	Vol.(2003) ¹	Variación (1987-2003) ¹	Vol.(2006) ²	Vol.(2017) ²	Variación (2006-2017) ²
Parcela de estudio	3.409.114,73	3.129.669,05	-279.445,68 (-8,19%)	2.290.095,93	1.860.304,66	-429.791,27 (-18,76%)
*Geoforma erosiva 1	2.301,01	2.166,87	-134,14 (-5,82%)	3.832,57	2.908,34	-924,23 (-24,11%)
*Geoforma erosiva 2	2.173,58	1.404,14	-769,44 (-35,39%)	2.759,52	2.202,17	-557,35 (-20,19%)
*Geoforma erosiva 3	23,1	5,08	-18,02 (-78%)	219,82	146,36	-73,46 (-33,42%)

Vol.: Volumen de sedimentos (m³); ¹ Resolución: 4 m, restitución fotogramétrica; ² Resolución: 1m, ficheros .las; *Vol. en superficies coincidentes (1987-2003 y 2006-2017)

Densidad vegetal	Sup. (1961)	Sup. (1977)	Sup. (1987)	Sup. (2003)	Sup. (2017)	Variación (1961-2017)
Densidad (0-10,65%)	253.825	231.218	203.307	163.309	117.822	-136.003 (-53,58%)
Densidad (10,65-22,35%)	13.535	23.939	38.020	54.386	63.428	49.893 (368,62%)
Densidad (22,35-49,26%)	7.477	15.699	23.535	34.128	50.433	42.956 (574,51%)
Densidad (49,26-84,25%)	2.851	6.832	12.480	25.691	46.005	43.154 (1513,64%)

Sup.: Superficie en la parcela de estudio (m²), resolución: 1m

RESULTADOS

Densidad de la vegetación

Desde 1961 hasta la actualidad se puede observar que la vegetación en la parcela de estudio ha experimentado un aumento de la densidad, pues las densidades bajas (0-10,65), caracterizadas por la presencia de individuos vegetales aislados, han sido sustituidas por densidades más altas. Entre las especies con mayor presencia destacan *Tamarix canariensis* y *Launaea arborescens* (Fig. 2, Tabla II).

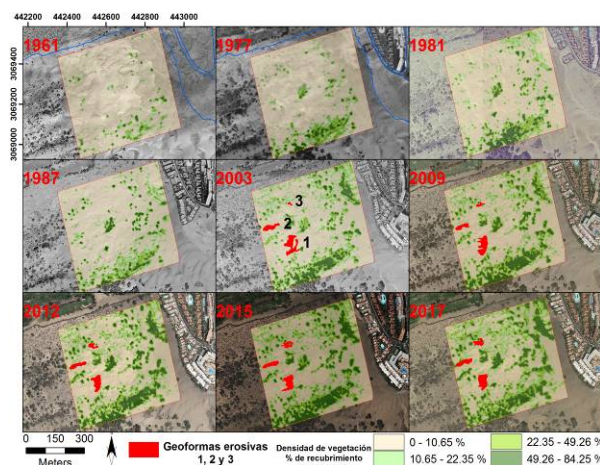


FIGURA 2. Evolución de la densidad de la cobertura vegetal en la zona de estudio. En rojo, se muestran las 3 geoformas erosivas estudiadas, detectadas desde 2003.

Procesos erosivos

En cuanto a los procesos erosivos de la parcela de estudio, se puede constatar el déficit sedimentario desde 1987 hasta la actualidad a partir de los MDEs (Tabla II). Además, desde 2003 se detecta la aparición de tres geoformas erosivas prácticamente a la misma distancia con respecto a la urbanización (Fig. 2). Estas geoformas han experimentado aumento superficial y disminución volumétrica desde 1987 hasta 2017 (Fig. 3 y Tabla II). Sus morfologías presentan diferencias entre sí. La geoforma erosiva 2 se corresponde con un *trough blowout* (Hesp, 2002; Mir-Gual et al., 2015) y, aunque se han detectado cambios, ha sido la más estable en el

tiempo. Las acumulaciones de sedimento, por su parte, se observan en torno a la vegetación arbustiva que ha crecido cerca de las zonas de erosión.

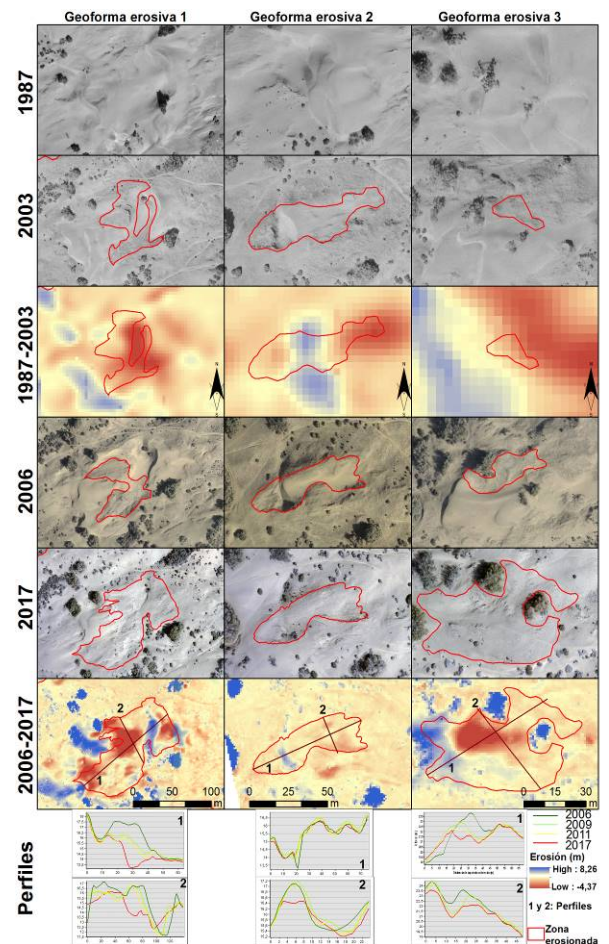


FIGURA 3. Evolución superficial y altimétrica de las geoformas erosivas desde 1987 hasta 2017. Los perfiles topográficos muestran las diferencias de alturas desde 2006 (verde oscuro) hasta el 2017 (rojo).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se han analizado dos variables con el fin de caracterizar los procesos erosivos en la zona de sombra

generada a sotavento de la urbanización Playa del Inglés (densidad de la vegetación y volumen sedimentario), aunque también se ha podido observar las variaciones superficiales de las geoformas erosivas estudiadas. Por lo que respecta a la densidad de la vegetación, se comprueba que existe un aumento en la entre los años 1961 y 2017. Éste se ha relacionado con la estabilización de las dunas, como consecuencia de la disminución en más de un 50% en la velocidad del viento, a partir de la urbanización de la terraza alta (Hernández-Calvento et al., 2014; Hernández Cordero et al., 2017). Los resultados obtenidos refuerzan esta hipótesis. Por lo que respecta al volumen sedimentario, se comprueba que existe un déficit progresivo, que se manifiesta tanto en toda la parcela, como en las tres geoformas erosivas identificadas. Al respecto, cabría añadir que, si bien en esta zona de sombra se constata una disminución del flujo eólico y, con ello, del transporte sedimentario (Hernández-Calvento et al., 2014; Smith et al., 2017), la propia existencia de estas geoformas erosivas son indicativas de la existencia de una aceleración del viento en áreas localizadas. Como se puede apreciar en la Fig. 4, la velocidad del viento a 0.4m de altura en condiciones de vientos suaves se incrementa progresivamente conforme aumenta la distancia a la urbanización, siendo mayor justamente donde se localizan las geoformas erosivas (400-500 m).

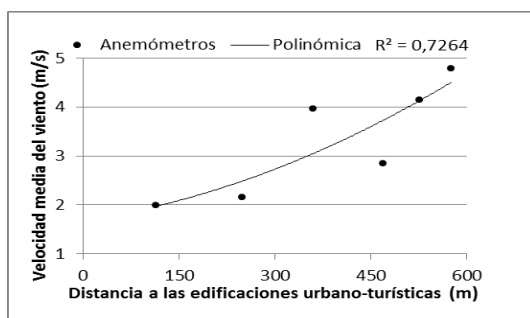


FIGURA 4. Velocidad media del viento en el transecto de anemómetros (Figura 1) y distancia con respecto a la urbanización.

Estas geoformas erosivas han surgido en zonas donde la colonización vegetal arbustiva no se ha desarrollado, aunque sí la herbácea (con especies pioneras como *Cyperus capitatus*), que muestra un grado de susceptibilidad significativo al proceso erosivo, observándose la exhumación de sus raíces y no pudiendo ejercer la función de captación y acumulación de sedimentos. Por último, La geoforma erosiva 2 es un *trough blowout* (Hesp, 2002) con características diferenciadoras con respecto a los de otras regiones climáticas (Mir-Gual et al., 2015). En contraste con otros *blowouts* de interior (ej. Sun et al., 2016) éste y el resto de geoformas erosivas de este trabajo han sido inducidas por procesos antrópicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución de los proyectos CSO2013-43256-R y CSO2016-79673-R (Plan Nacional de I+D+i) cofinanciados con fondos FEDER y un contrato predoctoral de la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información y por el Fondo Social Europeo (FSE).

REFERENCIAS

- Crutzen, P.J. y Stoermer, E.F. (2000): The "Anthropocene". *Global Change Newsletter*, 41: 17-18.
- Domínguez-Mujica, J., González-Pérez, J. y Parreño Castellano, J.M. (2011): Tourism and human mobility in Spanish Archipelagos. *Annals of Tourism Research*, 38: 586–606.
- García-Romero, L., Hernández-Cordero, A. I., Hernández-Calvento, L. y Pérez-Chacón, E. (2014): Propuesta de clasificación, mediante TIG, de la cobertura vegetal en sistemas arenosos áridos. En, Zaragoza, B. y Ramón-Morte, A. (Dirs.) *Las Tecnologías de la Información Geográfica para nuevas formas de ver el Territorio. XVI Congreso Nacional de TIG*. Universidad de Alicante y grupo de TIG de la AGE, Alicante, pp. 181-189.
- Hernández-Calvento, L., Jackson, D.W.T., Medina, R., Hernández-Cordero, A.I., Cruz, N. y Requejo, S. (2014): Downwind effects on an arid dunefield from an evolving urbanised area. *Aeolian Research*, 15: 301-309.
- Hernández-Cordero, A.I., Hernández-Calvento, L., Pérez-Chacón Espino, E. (2017). Vegetation changes as an indicator of impact from tourist development in an arid transgressive coastal dune field. *Land Use Policy* 64:479-491.
- Hesp, P.A. (2002): Foredunes and blowout: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48: 245-268.
- Jackson, M.L. y Nordstrom, K.F. (2011): Aeolian sediment transport and landforms in managed coastal systems: a review. *Aeolian Research*, 3 (2): 181-196.
- Mir-Gual, M., Blanco-Chao, R., Hernández-Cordero, A. I., Pons, G.X., Costa-Casais, M. y Hernández-Calvento, L. (2015) Comparación descriptiva de morfologías blowout bajo diferentes condiciones ambientales. *Geo-temas*, 15: 205-208.
- Smith, A. B., Jackson, D. W. T., Cooper, J. A. G. y Hernández-Calvento, L. (2017): Quantifying the Role of Urbanization on Airflow Perturbations and Dunefield Evolution. *Earth's Future*. In press. DOI: 10.1002/2016EF000524.
- Sun, Y., Hasi, E., Liu, M., Du, H., Guan, C. y Tao B. (2016): Airflow and sediment movement within an inland blowout in Hulun Buir sandy grassland, Inner Mongolia, China. *Aeolian Research*, 22: 13-22.