

Modelización dunar mediante técnicas GPS de alta precisión (Gandia – Oliva)

Alborch, V., Santillana, D., Estornell, J., Martí, J.

Depto. Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. Universitat Politècnica de València (Campus de Gandia).
Camino de Vera s/n 46022 Valencia.

vialfer@epsg.upv.es, dasanfre3@epsg.upv.es, jaescree@upv.es, jemarga@upv.es

Resumen: Este proyecto se centra en la modelización tridimensional de dos zonas dunares localizadas en Gandia y Oliva (Valencia, España), y en el posterior análisis de los resultados obtenidos. Se obtuvieron los datos de campo necesarios utilizando tecnología GPS-RTK y se analizaron diferentes métodos de interpolación, para la obtención del modelo tridimensional que presentara un menor error. Además, se procesaron datos LIDAR aéreo de la zona, del año 2009, para realizar a continuación una serie de análisis, contrastando ambos tipos de datos. Se realizaron análisis como la diferencia de volumen de material sedimentario, la posición del frente de duna, análisis de perfiles transversales de la zona, entre otros análisis. Tanto la representación de las zonas de estudio, como los posteriores análisis, contrastando ambos tipos de datos, proporcionaron información del estado, su evolución y características de las mismas.

Palabras Clave: Sistema dunar, técnicas GPS, modelo tridimensional, interpolación, LIDAR.

Abstract: *The main objective of this study is the 3D representation of two dunes in Gandia and Oliva (Valencia, Spain), and the analysis of the results reached. Firstly, measurement data were taken in field, using GPS-RTK technology, and afterwards, a comparison of interpolation methods were carried out in order to find the model with the minimum error. In addition, airborne LIDAR data from these areas (2009) were processed in order to compare both data types. Several analysis were done, such as, sediment volume difference, position of dunar break line, analysis of transverse profiles, etc. Both, the representation of these areas and the subsequent analyses, comparing data types, offer a view from the situation and characteristics of them and their possible evolution.*

Keywords: *Dune system, GPS techniques, 3D model, interpolation, LIDAR.*

1. INTRODUCCIÓN

En el litoral destaca la presencia de dunas, un sistema natural de protección de la costa que se crea con la acumulación de arena de forma suave y uniforme generada por la dinámica eólica. La presencia de las dunas abarca todo el litoral y actúa formando un cordón dunar cuya misión es la protección del ecosistema. Las características propias de dichas dunas, permiten la presencia de flora y fauna única que favorecen su existencia.

El litoral está gravemente afectado por la ocupación humana y el uso que se hace del mismo. Es por ello que el ecosistema litoral se ha degradado. Como ejemplo de dicho impacto ambiental, cabe destacar que antes de empezar el siglo XXI, se considera que un 95% de las dunas de la Comunidad Valenciana estaban destruidas (Costa *et al.*, 1989). Además, el litoral valenciano solo posee 60 km de dunas delanteras o *foredunes* (Hesp, 1981) de manera interrumpida por las construcciones presentes en la línea de costa, respecto a los 150 km de dunas transversales formando dos alineaciones más o menos paralelas desde las inmediaciones de la ciudad de Castellón hasta Denia (Sanjaume y Pardo, 1992).

El objetivo de este estudio fue utilizar mediciones realizadas utilizando un GPS-RTK (*Real Time Kinematic*) y datos LiDAR del sistema aéreo del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) para modelizar tridimensionalmente las dunas y extraer información relevante de ellas como línea del frente de duna,

perfiles transversales y analizar el volumen de arena, información de alto interés para analizar la evolución de estos ecosistemas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio y datos

El estudio se realizó en dos zonas localizadas en los términos municipales de Gandia y Oliva (Valencia). Ambas áreas de estudio se encuentran dentro de la Red Natura 2000. Se trata de un espacio declarado como Zona de Especial Conservación (ZEC) y Lugar de Interés Común (LIC) (Dunas de la Safor, código ES5233038), por la relevancia de su hábitat y la necesidad de integrarlo en una red ecológica europea con el fin de conservar su biodiversidad.

La zona de Gandia (Figura 1) se encuentra en la parte norte de la playa de l'Ahuir, cerca de la desembocadura del río Vaca en Xeraco. Se trata de un área rectangular de 140×220 m cuya delimitación por coordenadas UTM zona 30 en el sistema de referencia ETRS89 (*European Terrestrial Reference System* 1989) son:

X (mín.)=743604,63 ; Y (mín.)=4324205,76

X (máx.)=743836,28 ; Y (máx.)=4324470,34.

La zona de Oliva (Figura 2) se encuentra en la zona sur de este municipio delimitada por las siguientes coordenadas:

X (mín.) = 755113,74 ; Y (mín.) = 4309645,25

X (máx.) = 755417,27 ; Y (máx.) = 4309910,80

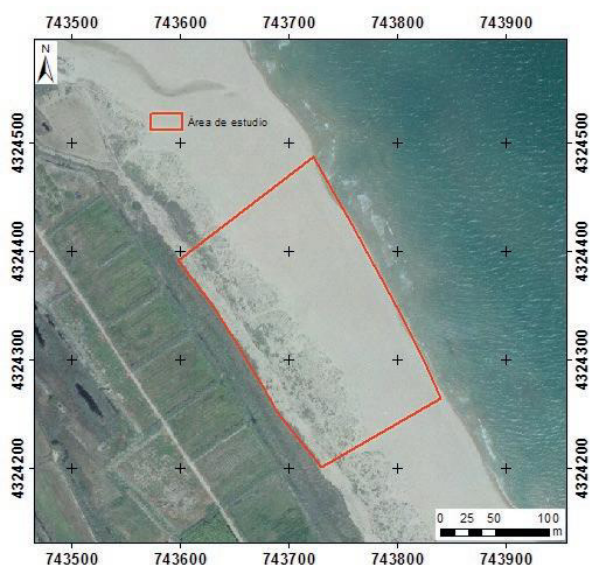


Figura 1. Ubicación Zona de Estudio Gandia.

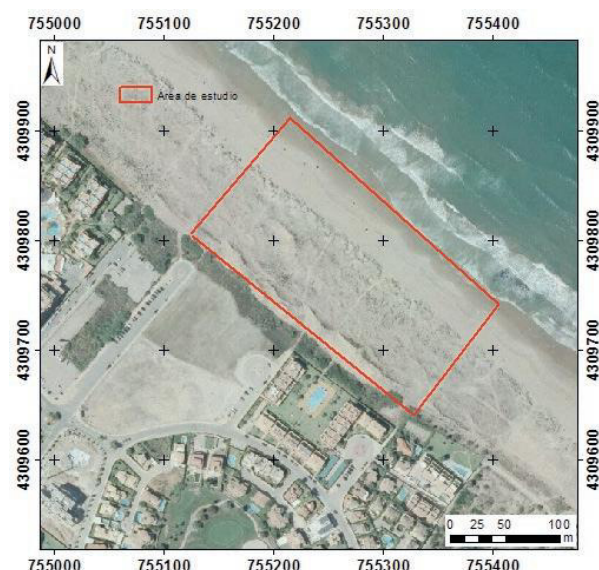


Figura 2. Ubicación Zona de Estudio Oliva.

Para llevar a cabo la representación de las dunas se utilizaron datos GPS y LiDAR. Los primeros se tomaron a partir de dos levantamientos topográficos utilizando un GPS modelo Leica System 1200 y empleando la metodología RTK (Peñafiel y Zayas, 2001). En total se tomaron unos 2500 y 3300 puntos GPS en Gandia y Oliva respectivamente, con una precisión inferior a 5 cm sobre zonas a lo largo del pie y la cresta de la duna primaria y secundaria, además de la zona interdunar. Los levantamientos se realizaron en enero del 2016. El posicionamiento en tiempo real con GPS-RTK se consiguen eliminar errores propios del sistema GPS a partir de dos o más instrumentos GPS. En nuestro caso, se han utilizado las correcciones diferenciales en tiempo real de la Red de Estaciones de Referencia de Valencia (ERVA), el mantenimiento de la cual está a cargo del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV).

Los datos LiDAR utilizados en este estudio corresponden al PNOA-LIDAR del año 2009 y se descargaron del centro nacional de descargas del Instituto Geográfico Nacional (LiDAR-PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional) <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>. Los datos se adquirieron entre agosto y septiembre del 2009 utilizando un sensor LMS-Q680-RIEGL con los siguientes parámetros de adquisición: altura media 1300 m.s.n.m., frecuencia de pulso 70 kHz, campo de visión transversal de la toma de puntos LIDAR (FOV) 60°, frecuencia de escaneado 46 Hz, velocidad promedio del avión 120 km/h y densidad promedio 0,7 puntos m².

2.2. Procesado datos GPS y LiDAR

Una vez realizados los dos levantamientos topográficos se analizaron diferentes métodos de interpolación con el objetivo de seleccionar el método que genera una representación continua y en 3D de mayor precisión. Los métodos de interpolación que se estudiaron fueron: IDW (*inverse distance weighting*), *Spline with Barriers*, *Topo*

to Raster, TIN (*triangulated irregular Surface*), *Kriging* y *Natural Neighbor*.

El sistema de validación de las distintas interpolaciones consistió en crear una malla (16×22 m) y en el interior de cada celda se seleccionó un punto del levantamiento como se observa en la Figura 3.

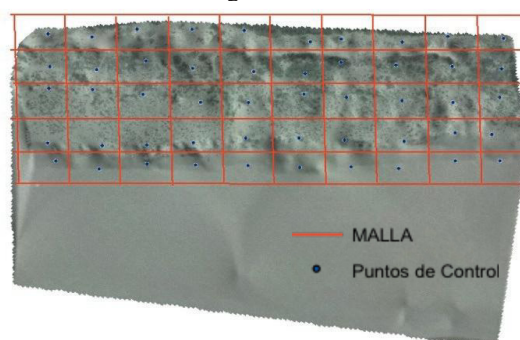


Figura 3. Puntos de control tomados a partir de cuadrícula de la malla.

Los puntos de control seleccionados fueron superpuestos con cada una de las modelizaciones realizadas para cada técnica de interpolación. De esta manera se calcularon las diferencias entre las elevaciones medidas en campo y los resultados de cada método para conocer qué modelo se adapta mejor a las zonas de estudio. Se seleccionó el método de interpolación con menor Error Cuadrático Medio (ECM) (Ecuación 1).

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - z_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Donde Z_i es valor medido en campo con GPS; z_i es valor obtenido del MDE calculado y N número de puntos medidos.

Para obtener la representación tridimensional de las dunas mediante datos LiDAR en primer lugar se analizaron las diferencias en Z entre los puntos LiDAR

y GPS en zonas urbanas consolidadas y estables para comprobar que no hubiera errores entre ambos conjuntos de datos. Se eligieron 5 puntos en zonas asfaltadas de las urbanizaciones colindantes y se obtuvo una desviación estándar del LiDAR de unos 10 cm respecto a los 2 cm del GPS en Z. Por otro lado, antes de procesar los datos LiDAR se eliminaron puntos anómalos (*outliers*) con valores en las coordenadas Z muy diferentes al rango de valores dominantes en las zonas de estudio. Con los datos ya filtrados se generó una interpolación utilizando el mismo método de interpolación que el seleccionado tras el proceso de validación. Es importante recalcar que en este estudio se seleccionaron todos los puntos LiDAR, exceptuando posibles *outliers*, para obtener la modelización de la duna. La vegetación presente en la zona de estudio es baja, altura inferior a los 0,5 m, poco densa y concentrada en la zona interdunar siendo prácticamente inexistente en la primera estructura dunar donde se concentran los análisis realizados en este estudio.

Una vez obtenidos los diferentes modelos tridimensionales de las dunas se extrajeron las líneas del frente de duna en cada fecha y se compararon, se generaron varios perfiles transversales y se analizaron las diferencias en cota entre los dos modelos en las zonas de dunas. La zona de la playa no se tuvo en cuenta en estos análisis debido al carácter tan dinámico de estas áreas debido a los efectos de los temporales y el mantenimiento de las playas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método de interpolación que mejor se adaptó de forma conjunta a las dos zonas de dunas fue el *Natural neighbor* con un ECM de 0,12 m y 0,17 m en las zonas de Gandia y Oliva, respectivamente.

En las Figuras 4 y 5 se observan los modelos 3D generados mediante el método de interpolación *Natural neighbor* para las zonas de Oliva y Gandia, respectivamente.



Figura 4. Modelización 3D de la zona de Oliva aplicando el método *Natural neighbor*.

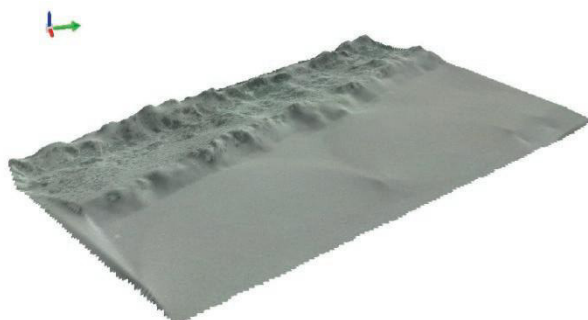


Figura 5. Modelización 3D de la zona de Gandia aplicando el método *Natural neighbor*.



Figura 6. Cresta dunar correspondiente a 2009 y a 2016 y superficie entre ambas en la zona de Gandia.

Centrando el estudio en la cresta dunar, se puede observar en la Figura 6 como se ha producido un notable avance del frente de duna delantero en la zona de Gandia, siendo la media de avance de 4,5 m. Respecto a las diferencias en altura, en el año 2009 la cresta dunar contaba con una altura mínima de unos 2,5 m y una altura máxima de unos 4,2 m siendo la altura media de 3,3 m. En cambio, en enero de 2016 se cuenta con una altura mínima inferior de unos 2,2 m pero una altura máxima superior de unos 4,5 m siendo la altura media de unos 3,6 m. Con esto se puede decir que el sistema dunar ha evolucionado y se hace visible en el crecimiento y desplazamiento de la duna delantera o *foredune*. La superficie total de avance es de 1167 m², corroborando que en la zona existe una acumulación de arena y un avance del frente dunar.

Así mismo, se realizaron una serie de perfiles transversales entre el modelo generado mediante GPS en 2016 y el generado mediante LIDAR correspondiente a 2009, y se observó que la duna secundaria es más estable puesto que está resguardada de la acción del viento, y la duna

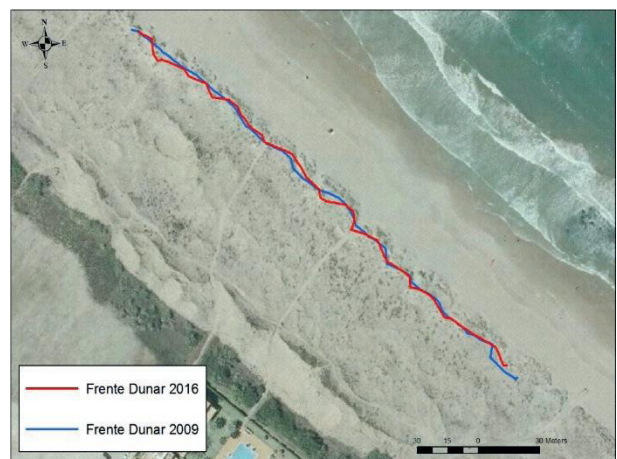


Figura 7. Cresta dunar correspondiente a 2009 y a 2016 en la zona de Oliva.

primaria ha ganado superficie dunar por acumulación de arena, desatancándose un efecto más notable en Gandia que en Oliva. También cabe destacar que los cambios no se dan por igual en toda la zona dunar como se observa en la Figura 8, signo del dinamismo de estos ecosistemas. En el caso de la duna de Oliva no se observó una tendencia clara con un desplazamiento negativo medio de $-0,22$ m intercalando zonas con avance positivo frentes otras con retroceso (Figura 7).

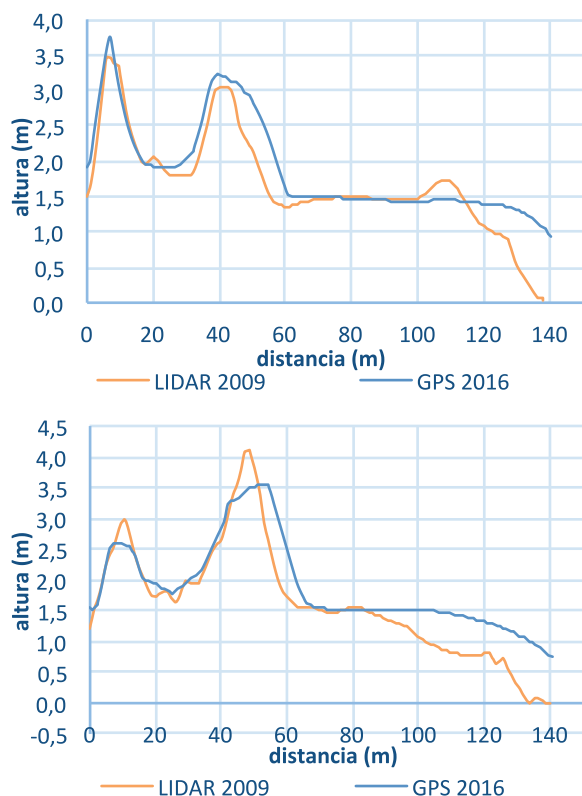


Figura 8. Gráficos correspondientes a dos perfiles transversales en la zona de estudio de Gandia.

4. CONCLUSIÓN

Los objetivos planteados en estos proyectos basados en la aplicación de técnicas GPS RTK en el cordón dunar de Gandia y Oliva, han demostrado poder llevarse a cabo de una forma sencilla y con muy buena precisión, que comparada con los datos LIDAR ha llegado a ser favorable en la escala de aplicación en la que se centra este estudio. De este proyecto se ha podido extraer el modelo de interpolación más adecuado y versátil para modelizar las dunas como es el método *Natural neighbor*. Además, se ha podido verificar que la línea de costa de la zona de estudio de Gandia presenta un claro avance mientras que en Oliva se puede decir que es una zona más o menos estable, así como que existe una evolución perceptible del frente de los cordones dunares. La combinación de técnicas de observación como las descritas en este estudio demuestran un potencial para monitorizar estos espacios de alto valor medioambiental.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto CGL2015-69906-R del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Costa, M., Stübing, G., y Peris, J. 1989. Vegetación litoral y continental. *Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana. Sec. 2*, 303-372.
- Hesp, P.A. 1981. The formation of shadow dunes. *Journal of Sedimentary Research*, 51(1).
- Peñafiel, J., Zayas, J. 2001. *Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía*. Colegio Oficial de IT en Topografía. Delegación de Madrid, Castilla-La Mancha., 135 pp.
- Sanjaume, E., Pardo, J. 1992. The dunes of the Valencian coast (Spain): Past and present. In *Proceedings of the third European dune congress*, Galway, IE.