

Aplicación de datos LiDAR aéreo para el cálculo de cuencas visuales

Pellicer, I.¹, Estornell, J.², Martí, J.²

¹ Escuela Politécnica Superior de Gandía, Universitat Politècnica de València. Calle Paranimf, 1. 46730 Grao de Gandía, España.

² Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España.

Resumen: Los estudios de impacto ambiental o paisajismo de cualquier obra o actuación en el territorio requieren de un estudio del impacto visual a partir de la generación de cuencas visuales. La exactitud de estos resultados depende de los parámetros de cálculo de las mismas, de la precisión y resolución espacial de los datos de partida y de los modelos digitales que se deriven. En este estudio se analizaron cuencas visuales en 4 zonas del municipio de Gandía con características diferenciadas (urbana, forestal, playa y mixta) a partir de los siguientes tipos de información cartográfica: a) Modelo Digital del Terreno (MDT) y b) Modelo Digital de Superficie (MDS) calculados a partir de datos LiDAR con una densidad media de 1 punto/m²; c) MDT de tamaño de píxel 5×5 m derivado de un vuelo fotogramétrico; d) Superposición cartografía catastral y el MDT anterior. Para la validación de las mismas se utilizaron 120 puntos de muestreo a partir de los cuales se calcularon la fiabilidad global e índice *kappa*. Los resultados obtenidos mostraron una fiabilidad global muy alta en las cuencas visuales calculadas a partir del MDS derivado de los datos LiDAR siendo la fiabilidad global e índice *kappa* del 90% y 0,80, respectivamente. Estos resultados indicaron la idoneidad de esta fuente de información en la generación de cuencas visuales para su aplicación en los estudios de paisajismo o impacto ambiental.

Palabras clave: modelo digital de superficie (MDS), modelo digital del terreno (MDT), cuenca visual, paisajismo, LiDAR.

Application of airborne LiDAR data in viewshed analysis

Abstract: The environmental impact assessment and landscape analysis of any work or activity over the territory requires a study of the visual impact what can be done from the application of viewshed analysis. The accuracy of these results depends largely on the parameters for calculating them, accuracy and spatial resolution of initial elevation data and digital models derived. In this study viewshed analysis in 4 areas of the town of Gandía with different characteristics (urban, forest, beach, mixed) were analyzed from 4 types of geographic information: a) Digital Elevation Model (DEM) and b) Digital Surface Model (DSM) derived from LiDAR data with density of 1 point/m²; c) DTM from a photogrammetric flight with a pixel size of 5×5 m; d) Overlay cadastral cartography with the previous DTM. For the validation of the results, 120 checking points were used to calculate the overall accuracy and *kappa* index. The results showed a high overall accuracy for the viewsheds calculated from the DSM derived from LiDAR data being the overall accuracy and index *kappa* 90% and 0.80, respectively. The conclusions drawn from this study indicated that the use of this source of information showed a good performance for the generation of viewshed analysis.

Key words: digital surface model (DSM), digital terrain model (DTM), viewshed analysis, landscaping, LiDAR.

* Autor para la correspondencia: nacho_pellicer@hotmail.com

1. Introducción

La Política del Paisaje de la Comunidad Valenciana se inspira en el Convenio Europeo del Paisaje (firmado por los miembros del Consejo Europeo el 20 de Octubre del 2000) y se concreta en un nuevo marco legislativo e institucional en el que el paisaje se considera un elemento importante en la planificación territorial y urbanística. En este marco, se definen los Instrumentos de Paisaje, con especial énfasis en los Estudios de Paisaje y de Integración Paisajística, que necesariamente acompañan a la mayoría de planes, programas y proyectos con incidencia en el territorio (Muñoz Criado, 2008). De la Ley 4/2004 de la Generalitat Valenciana, *de Ordenación del Territorio y Protección del Paisaje* surge el *Reglamento del Paisaje* aprobado por el Decreto 120/2006 el 11 de agosto de 2006, el cual establece las directrices básicas para la elaboración de los Estudios de Paisaje en la Comunidad Valenciana (Pérez et al., 2008).

Las cuencas visuales son una herramienta necesaria en los Estudios de Integración Paisajística y deben considerar las determinaciones de los posibles Estudios o Catálogos de Paisaje vigentes en ellas. Una cuenca visual es un análisis sobre el territorio cuyo resultado determina las zonas visibles y no visibles para uno o varios puntos de observación, dependiendo, entre otros factores, de la distancia máxima de estudio, la altura de observación (*offset A*), la del punto observado (*offset B*) y el ángulo de visión de estos puntos.

La utilidad de estos análisis es muy amplia: estudios de impacto ambiental (Fisher, 1991; Mouflis et al., 2008; Otero et al., 2009), impacto visual sobre el paisaje (Bishop, 2003), aplicaciones arqueológicas (Krist y Brown, 1994; Lake et al., 1998; Ogburn, 2006) y para calcular el precio hedónico de los edificios basado en una serie de factores como las vistas, calidad ambiental, localización, etc. (Sander y Manson, 2007; Cavailhès et al. 2009; Hamilton y Morgan, 2010). La mayoría de los estudios sobre análisis de visibilidad utilizan como superficie de entrada un modelo digital del terreno para el cálculo de las cuencas visuales (Ogburn; 2006; Bishop y Miller, 2007, Mouflis et al., 2008). Estos resultados pueden ser imprecisos en áreas con presencia de vegetación y edificios ya que al utilizar sólo el MDT pueden ser consideradas áreas visibles que en realidad no lo son (Dean 1997; Riggs y Dean, 2007). Pocos estudios han considerado el efecto de la vegetación y las

construcciones debido a la escasa disponibilidad y a la dificultad de obtener datos sobre ellos (Bishop et al., 2000; Sander y Manson, 2007; Riggs y Dean, 2007). El uso de modelos digitales que no representan estos elementos puede hacer que no se identifiquen los impactos visuales de los nuevos elementos construidos (Sander y Manson, 2007).

Los modelos digitales pueden ser derivados a partir del procesado de datos LiDAR (*Light Detection And Ranging*). La tecnología LiDAR es un sistema activo de teledetección que se basa en la medición del tiempo transcurrido entre la emisión de un pulso de energía y su llegada al sensor, después de haber sido reflejado por algún elemento de la superficie terrestre. Estos datos contienen información de las coordenadas de los puntos donde se producen las reflexiones, tanto si se produce en el suelo como en cualquier objeto que sobresalga de la superficie terrestre, como es el caso de la vegetación y edificios (Estornell et al., 2011). El acceso a estos datos es cada vez mayor (disponibilidad a nivel nacional de datos LiDAR con una densidad nominal de 0,5 puntos/m² del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, PNOA 2008-2012). A partir de esta fuente de información geográfica se reducen los errores asociados a la resolución espacial del modelo raster y métodos de interpolación, factores que inciden en la precisión de los resultados (Bishop et al., 2000; Maloy y Dean, 2001; Riggs y Dean, 2007). A partir de datos LiDAR se pueden generar productos de alta resolución espacial como un MDT y un MDS (Estornell et al., 2011). Este último contiene información de las elevaciones de cualquier objeto que se encuentre sobre la superficie terrestre (edificios, vegetación, mobiliario urbano...). Esta fuente de información proporciona gran cantidad de datos cubriendo prácticamente de manera continua la totalidad de la superficie. Es por ello que el error asociado a la interpolación es menor frente a otros tipos de datos de elevaciones medidos con menor densidad por técnicas tradicionales.

El objetivo fue comparar cuencas visuales para estudios de paisajismo a partir de 4 tipos de información cartográfica: a) Modelo Digital del Terreno (MDT) y b) Modelo Digital de Superficie (MDS) calculados a partir de datos LiDAR con una densidad media de 1 punto/m²; c) MDT con tamaño de píxel de 5×5 m derivado de un vuelo fotogramétrico; d) Superposición de cartografía catastral y el MDT anterior.

2. Material y métodos

2.1. Material y datos

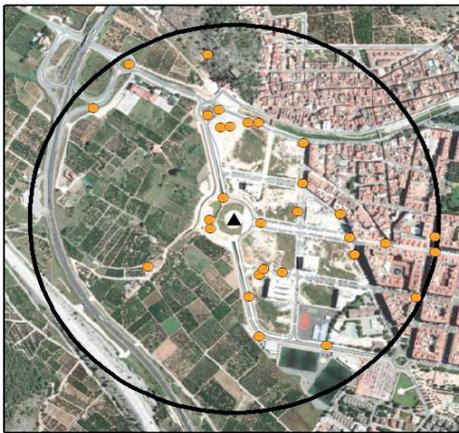
El estudio se realizó en 4 zonas del municipio de Gandia (Valencia) denominadas: urbana, forestal, playa y mixta (Figura 1). La zona mixta se caracteriza por la presencia de edificios y naves industriales, solares sin edificar, zonas verdes, zona de montaña y parcelas de cítricos. Se eligieron estas áreas para poder analizar los resultados de las cuencas visuales en diferentes tipologías de usos del suelo y para evaluar cómo influyeron en estos resultados los diferentes obstáculos del paisaje.

Se utilizó la siguiente información cartográfica:

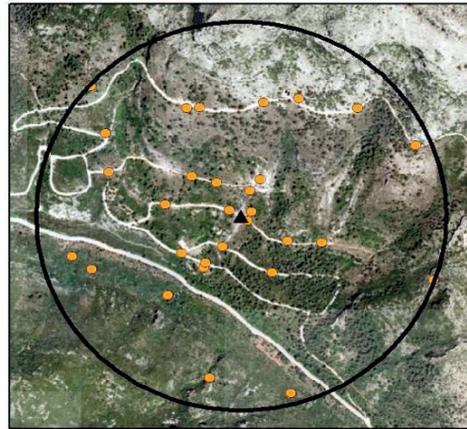
- MDT y MDS derivados de los datos LiDAR obtenidos en el 2008 en el término municipal de Gandia con un tamaño de píxel de 1×1 m. El sensor utilizado fue Optech ALTM Gemini y los parámetros de vuelo se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros vuelo LiDAR zona de estudio.

Parámetros vuelo	Valores
Altura media de vuelo	1.450 m
Frecuencia de barrido	38 Hz
Frecuencia de emisión de pulsos	70 kHz
Retornos	4
Angulo de escaneo	18°
Velocidad de vuelo	75 m/s
Densidad media	1 punto/m ²



Zona Urbana



Zona Forestal



Zona Playa



Zona Mixta

Figura 1. Zonas de estudio, puntos de observación (triángulos) y puntos de control (círculos amarillos).

- MDT obtenido por correlación automática y su edición posterior derivado de un vuelo fotogramétrico de los años 2009-2010 con un tamaño de píxel de 5×5 m y suministrados por el Institut Cartogràfic Valencià.
- Cartografía digital de parcelas rústicas y urbanas de la Dirección General del Catastro disponible a través de la Sede Electrónica del Catastro (SEC). Esta cartografía contiene información de los edificios y del número de plantas en la capa denominada *constru* (campo atributo) en formato *shape*. A cada planta se le asignó una altura media 2,75 m (altura media por planta), obteniendo de esta manera las alturas de los edificios. A partir de esta información se generó una imagen con los datos de las alturas de los edificios. El modelo digital resultante que se utilizó para el cálculo de las cuencas visuales se obtuvo sumando esta capa al MDT del caso anterior.

2.2. Metodología

A partir de los datos del apartado anterior se calcularon varias cuencas visuales por cada zona de estudio mediante el programa ArcGIS® versión 10.1 utilizando: a) MDT y b) MDS calculados a partir de datos LiDAR; c) MDT con tamaño de píxel 5×5 m; d) Superposición cartografía catastral y el MDT anterior.

Para la generación de cuencas visuales es necesario introducir además de la imagen que contiene las elevaciones del terreno o de los objetos situados sobre el mismo (casos a-d), los puntos o entidades de observación desde los que se van a calcular las mismas. En esta investigación se definió un punto de observación por cada zona de estudio. Otros parámetros opcionales permiten controlar el análisis de visibilidad a partir de la introducción de valores como el desplazamiento *offset A* y *offset B*. Estos parámetros representan una altura que se añade al valor *Z* en que se encuentra un punto de observación (*offset A*), y otra que se añade al valor *Z* de cada celda cuando se esté analizando su visibilidad (*offset B*). Estos valores se introdujeron en los campos específicos de la tabla de atributos de los puntos de observación. En este estudio se utilizó un *offset A* de 1,65 m (altura media de un observador) y un valor de *offset B* de 0,5 m. Se consideró este valor (en vez del valor por defecto de 0 m) con

el objetivo de minimizar la influencia en los resultados de factores asociados al micro relieve de la zona, objetos de poca altura e imprecisión de los datos. Por tanto, se calcularon 12 cuencas visuales: 4 en la zona urbana, 4 en la mixta y 4 en la de playa utilizando los modelos digitales a, b, c y d; además se calcularon 3 cuencas en la zona forestal utilizando los modelos digitales a, b y c.

Para comprobar la precisión de los cálculos efectuados se localizaron 120 puntos de muestreo (60 desde los que se vieron los puntos de observación y otros 60 desde los que no se vieron estos puntos) distribuidos aleatoriamente dentro de la zona de estudio (Figura 1). La visibilidad entre cada uno de estos puntos y el punto de observación se analizó *in situ* estableciendo la visibilidad o no del punto. Estos puntos fueron seleccionados en lugares significativos y de fácil localización, identificados a partir de las ortoimágenes de tamaño de píxel de $0,5 \times 0,5$ m y utilizando un GPS Garmin eTrex con el sistema WAAS (*Wide Area Augmentation System*). Los puntos se superpusieron con cada una de las 15 cuencas generando la matriz de confusión. A partir de estos datos se calculó la fiabilidad global y el índice *kappa*. La fiabilidad global se obtuvo dividiendo el número total de puntos con concordancia de valores observados - calculados entre el número total de puntos utilizados (Congalton *et al.*, 1983). Un valor del 100% indica una perfecta coincidencia entre los valores observados y los calculados. El índice *kappa* (Cohen, 1960) es un indicador multivariado que se obtiene a partir de la matriz de confusión considerando los valores de la diagonal y los de fuera de ella (distribuciones marginales) y que nos aporta información de la precisión del resultado de una clasificación. Este parámetro excluye que una distribución totalmente aleatoria de puntos en cada clase pueda originar buenos resultados al azar. Este índice varía entre 0 y 1. Un valor de 1 indica una concordancia perfecta entre los valores observados en campo y los calculados; valores por encima de 0,61 son clasificados como concordancia buena y por encima de 0,81 muy buena (Altman, 1991).

3. Resultados y discusión

Las cuencas generadas a partir del MDS (caso b) presentaron los valores más altos de índice *kappa* y fiabilidad global siendo los valores medios 0,8 y 90%, respectivamente (tablas 2 y 3). Estos parámetros fueron menores al utilizar el resto de

información geográfica con unos valores medios de índice *kappa* entre 0,07 y 0,3 y de fiabilidad global entre 57,5% y 66,7%. Estos resultados indicaron la importancia de utilizar un MDS para el cálculo de las cuencas visuales, modelo que se puede derivar de los datos LiDAR. Estos datos permiten medir las elevaciones de los objetos que hay sobre la superficie del terreno. Estos elementos generan barreras visuales ocultando el paisaje que se encuentra tras ellos.

Tabla 2. Resultados de índice *kappa* para las cuencas visuales generadas con un *offset* B de 0,5 m utilizando el MDT (a) y MDS (b), MDT de tamaño de píxel 5×5 m (c) y superposición MDT anterior con cartografía catastral (d) para cada zona de estudio.

Zonas	a	b	c	d
Mixta	0,167	0,933	0,009	0,159
Forestal	0,345	0,867	0,198	-
Urbana	0,219	0,730	-0,032	0,154
Playa	0,286	0,675	0,098	0,583
Media	0,254	0,801	0,068	0,299

Tabla 3. Fiabilidad global para las cuencas visuales generadas con un *offset* B de 0,5 m utilizando el MDT (a) y MDS (b), MDT de tamaño de píxel 5×5 m (c) y superposición MDT anterior con cartografía catastral (d) para cada zona de estudio.

Zonas	a	b	c	d
Mixta	60.0	96.7	53.3	56.7
Forestal	66.7	93.3	56.7	-
Urbana	66.7	86.7	56.7	63.3
Playa	70.0	83.3	63.3	80.0
Media	65.9	90.0	57.5	66.7

Considerando los resultados por áreas de estudio, al utilizar el MDS se obtuvieron los mayores valores de fiabilidad global siendo 96,7% y 93,3% en la zona mixta y forestal, respectivamente. Los valores más bajos se observaron en las zonas de playa y urbana (83,3% y 86,7%). Estos resultados pueden ser explicados teniendo en cuenta que la cota de los puntos de observación en la zona mixta y forestal fue mayor a los de las zonas urbanas y de playa. Destacar el efecto producido por las pérgolas que estuvieron representadas a partir del MDS como elementos sólidos generando áreas no visibles cuando en realidad si lo fueron. Este mismo efecto se observó en áreas con vegetación presente en estas zonas urbanas como palmeras y otros árboles ornamentales. En estos casos la distancia entre el suelo y el inicio de la copa fue elevada y quedaron representados en el MDS como objetos sólidos actuando como obstáculos al calcular las cuencas. Otro resultado que

merece ser destacado fue la diferencia observada en fiabilidad global media (57,5 %–65,9 %) e índice *kappa* (0,068–0,254) entre utilizar los diferentes MDTs (casos a y c). Este resultado puede ser explicado considerando que a partir de los datos LiDAR se obtuvo un MDT de mayor nivel de detalle/resolución (tamaño de píxel 1×1 m) lo que demostró que no sólo fue importante considerar información de elevaciones de vegetación y edificios para el cálculo de cuencas visuales sino también la resolución espacial del MDT.

Los resultados obtenidos al utilizar el MDT de menor resolución coincidieron con los valores más bajos en los parámetros de análisis de la precisión (Tablas 2 y 3). Este resultado se debió a la menor resolución de esta cartografía y, fundamentalmente, al hecho de que al no registrar los objetos presentes sobre el suelo se consideraron como visibles amplias zonas del paisaje que realmente no lo fueron. Por tanto, esta fuente cartográfica puede resultar poco adecuada para generar cuencas visuales. En el caso de utilizar la cartografía catastral (caso d) se obtuvo un incremento de la fiabilidad pasando de un 57,5% (caso c) a un 66,7% (caso d).

En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran las cuencas visuales obtenidas para cada una de las zonas de estudio. Se observó que las cuencas visuales con mayor superficie no visible fueron las generadas a partir de los datos del MDS (Figuras 2b, 3b, 4b y 5b). En contraste, las cuencas con mayor superficie visible fueron las obtenidas a partir del MDT (casos a y c de las Figuras 2, 3, 4 y 5) siendo los valores de los parámetros que miden la precisión los más bajos. Esta sobrestimación de áreas visibles se debió a que sólo se consideró la elevación del terreno para el cálculo de las cuencas no teniendo en cuenta el resto de elementos sobre la superficie terrestre que obstaculizaron la visibilidad. Este efecto se pudo observar con mayor claridad en los casos c de cada figura. Finalmente, se observó una buena correspondencia entre las zonas no visibles y las zonas urbanas al utilizar los datos catastrales (Figuras 2d, 4d y 5d). Este hecho explicaría el incremento en términos de fiabilidad global respecto a los casos en los que se utilizó sólo el MDT de menor resolución (Figuras 2c, 4c y 5c). Destacar que los valores de fiabilidad global obtenidos en la zona de playa al utilizar los datos de los casos b y d fueron similares, lo que indicó buenos resultados en zonas exclusivamente urbanas.

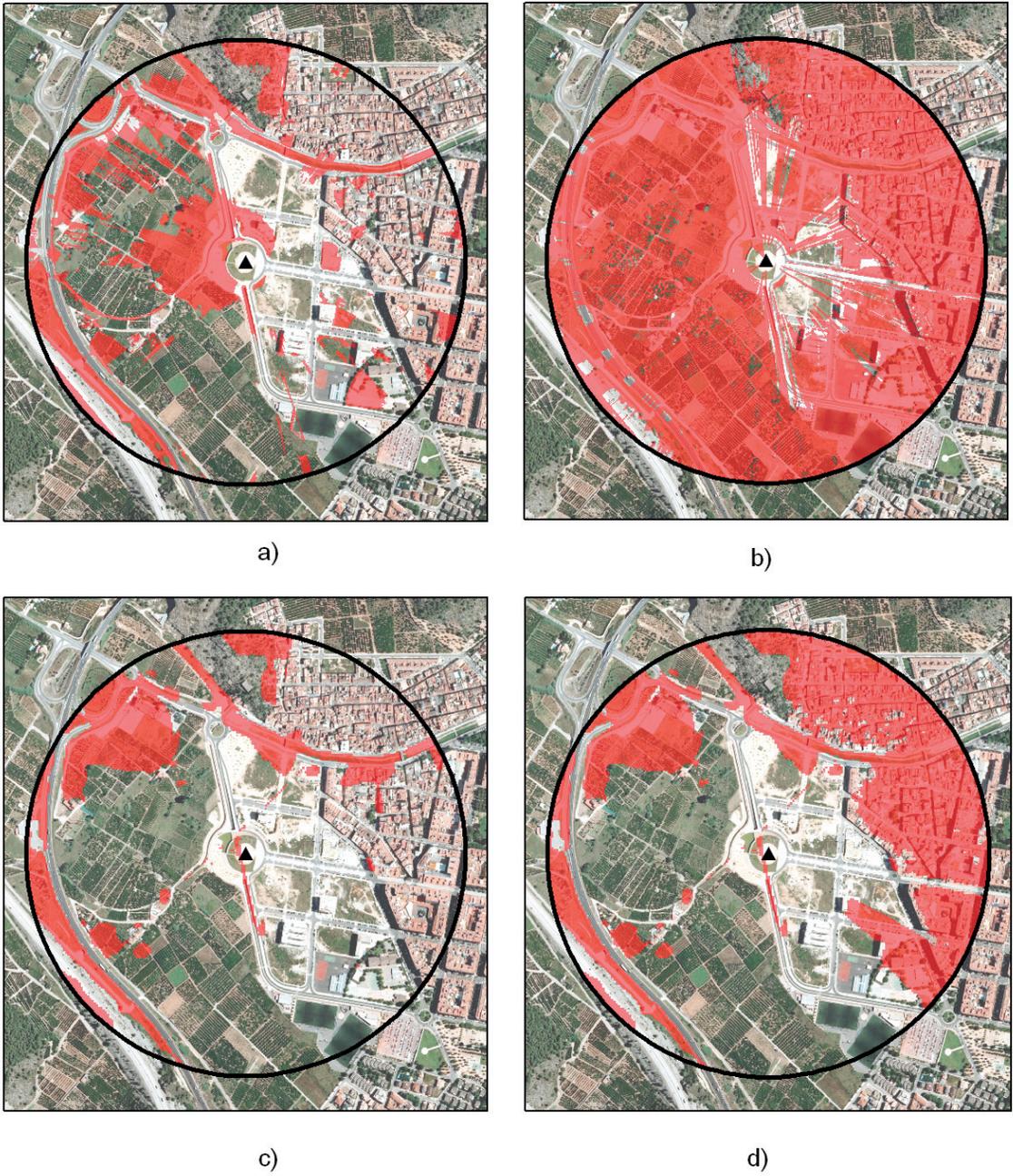
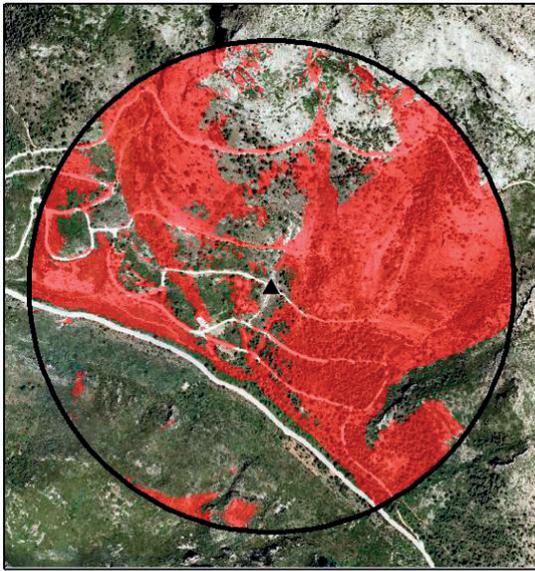
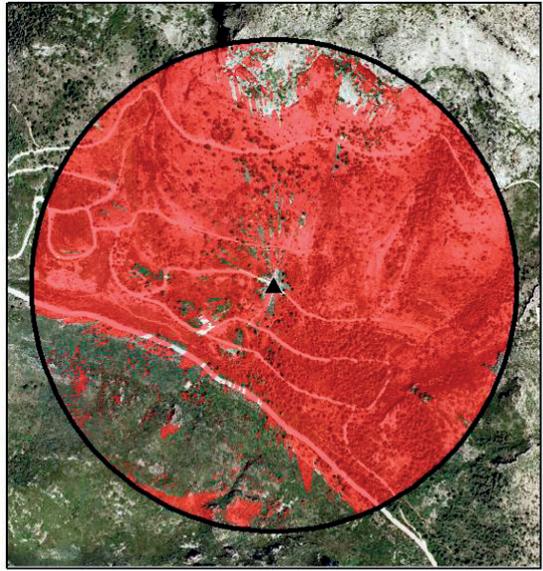


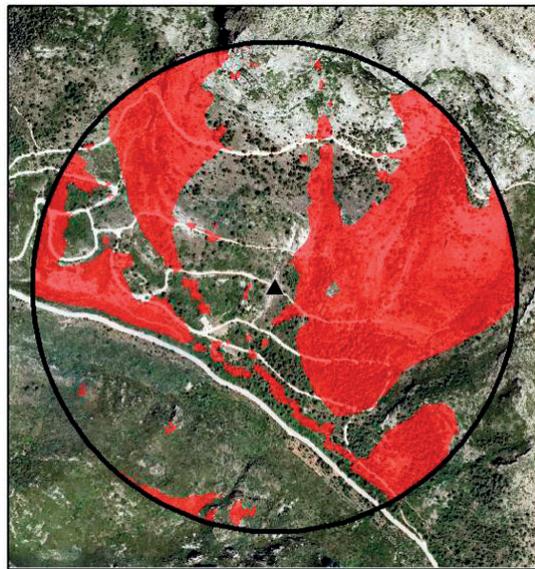
Figura 2. Resultado cuencas visuales zona urbana. Zonas no visibles sombreadas en rojo.



a)

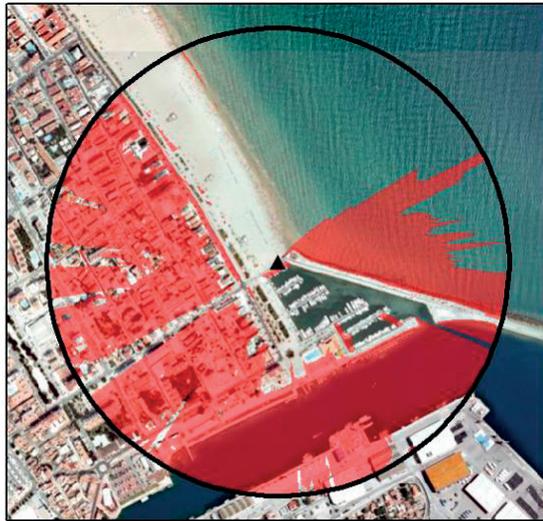


b)

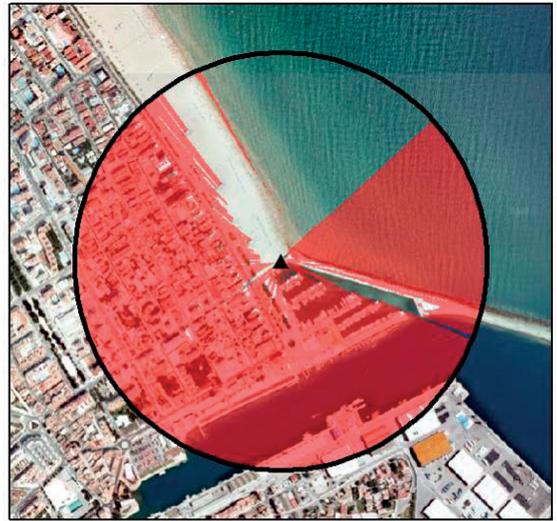


c)

Figura 3. Resultado cuencas visuales zona forestal. Zonas no visibles sombreadas en rojo.



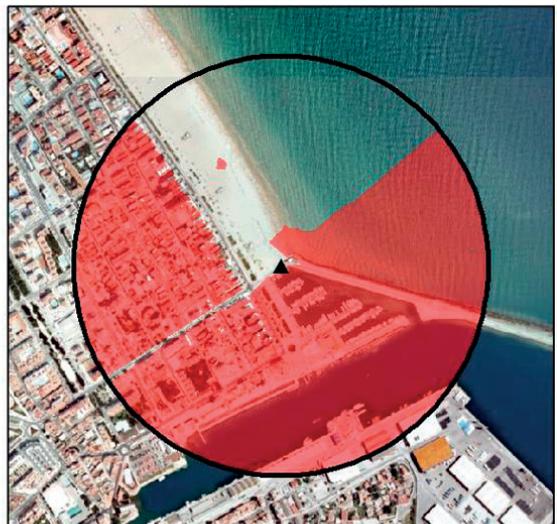
a)



b)

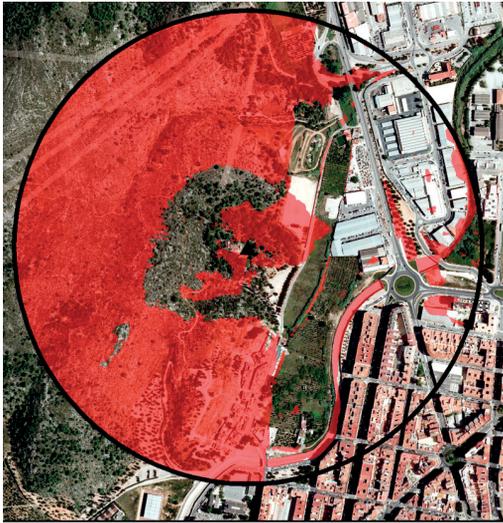


c)



d)

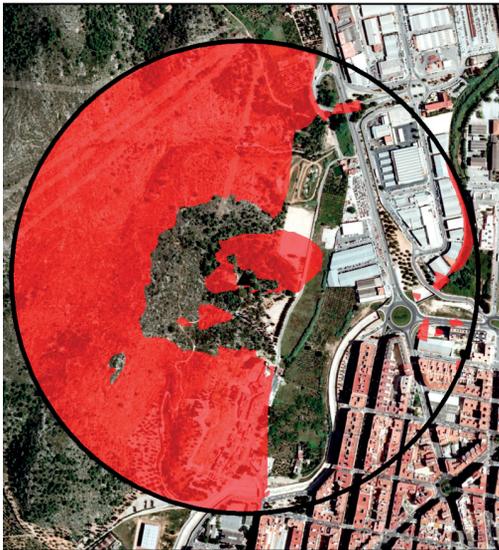
Figura 4. Resultado cuencas visuales zona playa. Zonas no visibles sombreadas en rojo.



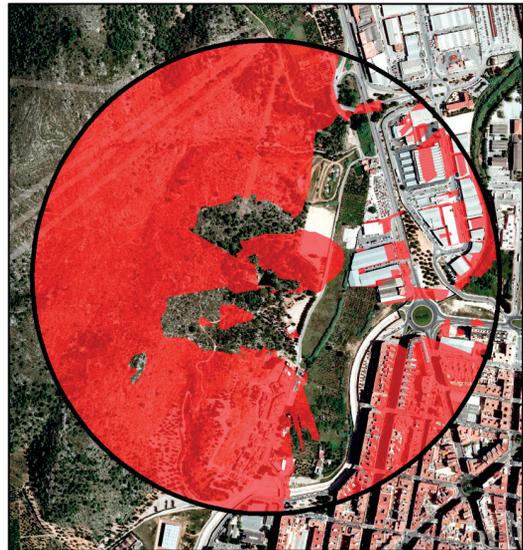
a)



b)



c)



d)

Figura 5. Resultado cuencas visuales zona mixta. Zonas no visibles sombreadas en rojo.

4. Conclusiones

Los resultados de este trabajo indican la importancia de utilizar MDS de alta resolución espacial para generar cuencas visuales. Estos análisis de visibilidad podrán ser utilizados en estudios de impacto ambiental o paisajismo y analizar así el impacto visual que las nuevas infraestructuras puedan generar sobre el territorio.

La metodología desarrollada en este trabajo podría ser aplicada utilizando los datos LiDAR del PNOA cuya densidad nominal es similar a los de este estudio y que son de acceso libre en todo el territorio español.

Referencias

- Altman, D.G., 1991. *Practical statistics for medical research*. New York: Chapman and Hall.
- Bishop, I.D., Wherrett, J.R., Miller D.R., 2000. Using image depth variables as predictors of visual quality. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 27(6), 865-875. doi:10.1068/b26101
- Bishop, I.D., 2003. Assessment of visual qualities, impacts, and behaviors, in the landscape, by using measures of visibility. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(5), 677-688. doi:10.1068/b12956
- Bishop, I.D., Miller, D.R., 2007. Visual assessment of offshore wind turbines: The influence of distance, contrast, movement and social variables. *Renewable Energy*, 32(5), 814-831. doi:10.1016/j.renene.2006.03.009
- Cavailhès, J., Brossard, T., Foltête, J.C., Hilal, M., Joly, D., Tourneux, F.P., Tritz, C., Wavresky, P., 2009. GIS-based hedonic pricing of landscape. *Environmental and Resource Economics*, 44(4), 571-590. doi:10.1007/s10640-009-9302-8
- Cohen J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46. doi:10.1177/001316446002000104
- Congalton, R.G., Oderwald, R.G., Mead, R.A., 1983. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(12), 1671-1678.
- Dean D.J., 1997. Improving the accuracy of forest viewsheds using triangulated networks and the visual permeability method. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(7), 969-977. doi:10.1139/x97-062
- DOGV, 2004. Ley 4/2004, de 30 de junio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio y Protección del Paisaje. BOE de 20 de Julio de 2004. DOGV de 2 de Julio de 2004.
- DOGV, 2006. Decreto 120/2006, de 11 de agosto, del Consell, por el que se aprueba el Reglamento de Paisaje de la Comunitat Valenciana. DOGV de 16 de Agosto de 2006.
- Estornell, J., Ruiz, L.A., Velázquez-Martí, B., Hermosilla, T., 2011. Analysis of the factors affecting LiDAR DTM accuracy in a steep shrub area. *International Journal of Digital Earth*, 4(6), 521-538. doi:10.1080/17538947.2010.533201
- Fisher, P.F., 1991. First experiments in viewshed uncertainty: The accuracy of the viewshed area. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(10), 1321-1327.
- Krist, F.J. Jr., Brown, D.G., 1994. GIS modelling of Paleo-Indian period Caribou Migrations and viewsheds in Northeastern Lower Michigan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60(9), 1129-1337.
- Hamilton, S.E., Morgan, A., 2010. Integrating LiDAR, GIS and hedonic price modeling to measure amenity values in urban beach residential property markets. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(2), 133-141. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2009.10.007
- Lake, M.W., Woodman, P.E., Mithen, S.J., 1998. Tailoring GIS software for archaeological applications: An example concerning viewshed analysis. *Journal of Archaeological Science*, 25(1), 27-38. doi:10.1006/jasc.1997.0197
- Maloy, M.A., Dean D.J., 2001. An accuracy assessment of various GIS-based viewshed delineation techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(11), 1293-1298.
- Mouflis, G.D., Gitas, I.Z., Iliadou, S., Mitri, G.H., 2008. Assessment of the visual impact of marble quarry expansion (1984-2000) on the landscape of Thasos island, NE Greece. *Landscape and Urban Planning*, 86(1), 92-102. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.12.009
- Muñoz, A., 2008. La política del paisaje en la Comunitat Valenciana. *Cuadernos Geográficos*, 43, 99-121.
- Ogburn, D.E., 2006. Assessing the level of visibility of cultural objects in past landscapes. *Journal of Archaeological Science*, 33(3), 405-413. doi:10.1016/j.jas.2005.08.005
- Otero, L., Varela, E., Mancebo, S., Ezquerro, A., 2009. El análisis de visibilidad en la evaluación de impacto ambiental de nuevas construcciones. *Informes de la Construcción*, 61(515), 67-75. doi:10.3989/ic.09.014
- Pérez, M.P., Llorens, F., García, E., Requena, A., 2008. Metodología para los estudios de paisaje en la Comunidad Valenciana. *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC.
- Sander, H.A. y Manson, S.M., 2007. Heights and locations of artificial structures in viewshed calculation: how close is close enough. *Landscape and Urban Planning* 82(4), 257-270. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.03.002
- Riggs, P.D., Dean, D.J., 2007. An Investigation into the Causes of Errors and Inconsistencies in Predicted Viewsheds. *Transactions in GIS*, 11(2), 175-196. doi:10.1111/j.1467-9671.2007.01040.x