

PROPUESTA METODOLÓGICA DE RESTITUCIÓN TOPOGRÁFICA

DIEGO TORRES IGLESIAS Universidade de Santiago de Compostela, dtorres.ig@gmail.com

RESUMEN Cuando realizamos un estudio de arqueología espacial en un entorno SIG (especialmente los análisis de movilidad) debemos ser conscientes de que todo territorio sufre una transformación, especialmente en los últimos 50 años. Los *Modelos Digitales del Terreno* sobre los que se fundamenta el estudio parten de la topografía actual (sean modelos a partir de curvas de nivel o los más recientes a partir de nubes de puntos *LiDAR*), por lo que si no hacemos una corrección y restitución topográfica puede derivar en determinados errores, como puede ser el trazo de una ruta de menor coste sobre una carretera actual. La probabilidad de obtener estos errores aumenta en proporción inversa al tamaño de la celda. Por todo esto, resulta imprescindible realizar una corrección que nos acerque lo máximo posible a una hipotética paleotopografía que nos permita, entre otras cosas, conocer la evolución de un determinado territorio o calcular zonas de paso óptimas evitando interferencias “actuales” tales como las citadas carreteras, núcleos de población o, si contamos con la ayuda de ortofotografías históricas, minas a cielo abierto, embalses y otro tipo de alteraciones del paisaje de gran envergadura.

Ante esto, presentamos una propuesta metodológica que, a partir de un estudio de caso, nos permita conocer y, sobre todo, divulgar el proceso de restitución topográfica.

PALABRAS CLAVE SIG, restitución topográfica, paleotopografía, arqueología espacial, análisis del territorio

ABSTRACT When we conduct a study of space archaeology in a GIS environment (especially mobility analysis) we should be aware that any territory undergoes a transformation, especially in the last 50 years. Digital Terrain Models on which the study is based start from current topography (whether models from contour lines or the latest from point cloud *LiDAR*), so if we do not make a correction and topographic restitution it can result in errors, as a line of a least cost path being over an actual road. The probability of getting these errors increases in inverse proportion to the size of the cell. For these reasons, it is essential to make a correction that brings us closer as possible to a hypothetical paleotopography that allows, among other things, to study the evolution of a given territory or calculate optimal paths. This way we can avoid “current” interference such as the aforementioned roads, villages or, if we have the help of historical orthophotos, opencast mines, dams and other type of alterations of the landscape.

KEYWORDS GIS, topographic restitution, paleotopography, spatial archaeology, territory analysis

Se podría decir que la tecnología *LiDAR*, desde su aparición hace escasos años, supone una gran ayuda en los estudios sobre el territorio y los paisajes culturales del pasado a escala local, puesto que nos ofrece un gran nivel de detalle sobre el terreno y de forma no invasiva, al igual que las ortofotografías y fotografías aéreas, sean históricas o actuales. La gran ventaja de las nubes de puntos *LiDAR* sobre las fotografías, radica en que el láser permite obtener información del terreno limpio de vegetación y con gran resolución (en el caso de la Comunidad Autónoma de Galicia, estas nubes cuentan con varios puntos por m²). Además, en el caso del Estado Español, se puede acceder gratuitamente a estos datos a través de diversas instituciones como el *Instituto Geográfico Nacional*¹ o el *Instituto de Estudos do Território*² (Galiza).

Estas pueden ser utilizadas para la elaboración de *Modelos Digitales de Terreno* que servirán como fuente de detección remota de nuevos sitios arqueológicos (túmulos, fortificaciones, etc), organizar prospecciones en campo o hacer cálculos geográficos como cuencas de visibilidad, entre otras opciones. Los modelos que obtenemos con estos datos son una representación fidedigna del territorio actual, por lo cual debemos ser cautelosos a la hora de trabajar con ellos. Decimos cautelosos porque para un trabajo de teledetección podemos utilizar visores *online* o de escritorio con los cuales, valga la redundancia, detectar evidencias arqueológicas: un ejemplo podría ser el caso de una necrópolis megalítica. Pero si queremos analizar la movilidad entre varios núcleos, es posible que una construcción posterior como un muro desvíe la ruta, lo cual puede llevar a conclusiones erróneas.

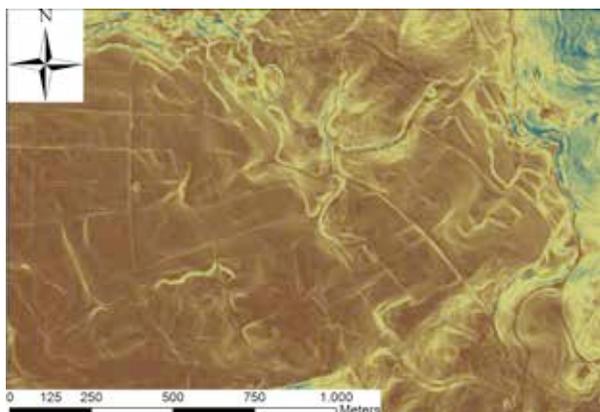
Por eso, en este trabajo presentamos una propuesta metodológica de *restitución topográfica* que puede ser de gran utilidad para el estudio arqueológico de los paisajes culturales del pasado a una escala local y en

1. <http://www.ign.es/ign/main/index.do>.

2. http://www.cmati.xunta.es/organizacion/c/Instituto_Estudios_Territorio o bien a través de su centro de descargas <http://visorgis.cmati.xunta.es/cdix/mapa.html>.

espacios altamente alterados en las últimas décadas. Esta *restitución topográfica* la aplicamos en un estudio de movilidad en un ayuntamiento rural, Cuntis, en la provincia de Pontevedra, Galiza. Como ejemplo, utilizaremos un área de unos 8 km² con varias aldeas de población que forman parte de dos parroquias: San Fiz de Estacas y San Mamede de Piñeiro, puesto que todos estos núcleos están situados en el mismo valle. Lo que queremos averiguar a través de un sencillo ejercicio es hasta qué punto la topografía actual puede condicionar nuestros cálculos y con ello, nuestras conclusiones. Al estar realizando un estudio sobre un área tan reducida, un modelo digital con una resolución de 10 m por celda (o más), no tendríamos "interferencias" provocadas por la mayor parte de las alteraciones antrópicas en la topografía, pero perderíamos precisión si queremos comparar los *caminos óptimos* con los restos de caminos antiguos o tradicionales tal como pretendemos hacer en nuestro estudio). En cambio, podemos aprovechar las posibilidades que nos brinda el escáner láser aéreo, creando modelos de gran resolución. En nuestro caso generamos modelos de 1 y 5 metros por celda, el primero para la teledetección y el segundo para los cálculos (reduce el tiempo de cálculo y, bajo nuestro punto de vista, es una resolución aceptable para realizar nuestras comparaciones). Como ya hemos dicho, el LiDAR nos ofrece una representación fidedigna de la topografía actual y nosotros necesitamos modelos *paletopográficos*: representaciones similares del territorio antes de un momento concreto en el cual este es alterado de forma intensa. Gracias a herramientas como LASTools³, a través de la cual procesamos este tipo de datos, podemos limpiar las nubes de puntos aplicando filtros que eliminan vegetación para quedar sólo con los puntos del terreno. Cabe decir que, el mismo cálculo que detecta y elimina los puntos de vegetación suele eliminar pequeñas edificaciones como casas, ya que interpreta los puntos del tejado como *ruido*. El modelo de 5 m, al representar en la realidad una superficie de 25 m² ya elimina buena parte de aquellos elementos que pueden condicionar la movilidad, como pueden ser barreras (edificios, muros, etc.) o elementos

3. <http://rapidlasso.com/lastools/>.



1. Mapa de pendientes de 5m en el cual se pueden ver buena parte de las carreteras actuales.

favorecedores (toda clase de viales). Pero aun así, aquellas carreteras más anchas o edificaciones más grandes siguen apareciendo. Es por eso que se hace necesario realizar la *restitución topográfica*.

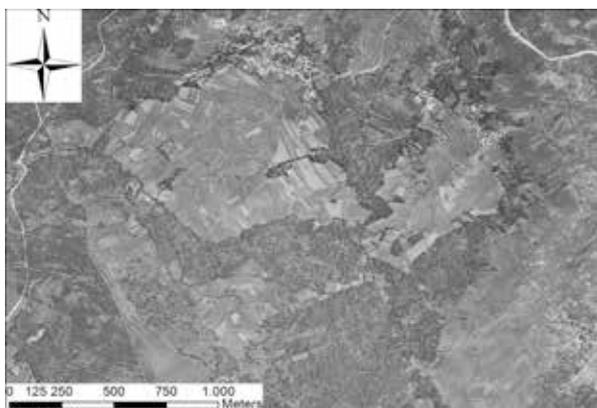
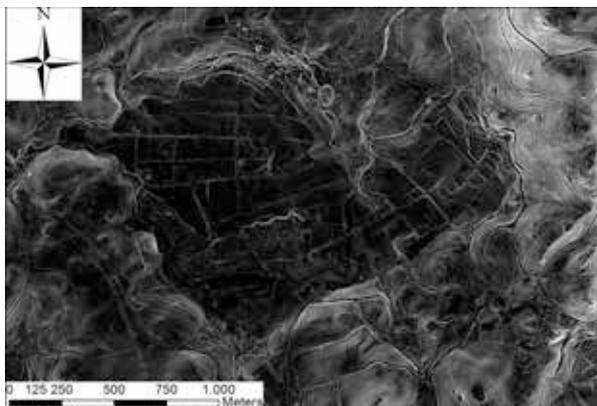
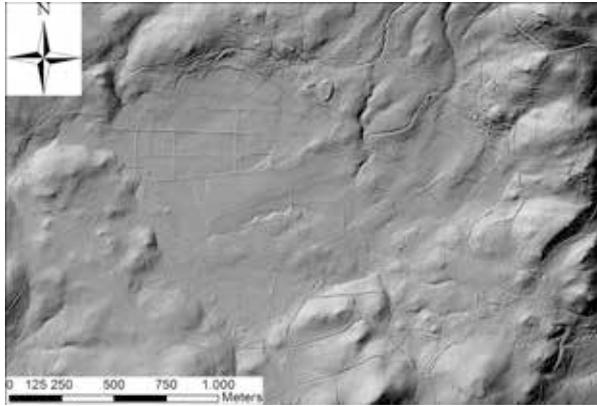
Para ello, utilizamos dos hojas o archivos LiDAR (2x4 km de extensión) que transformaremos en tres archivos *raster* (un modelo digital de elevaciones, otro sombreado o *hillshade* y otro de pendientes o *slope*, todos ellos con un valor de celda 1m.), ortofotografías del PNOA (*Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*) y las ortofotografías históricas de 1956-56, comúnmente conocidas como *Vuelo Americano serie B*.

De este modo, superponiendo capas y comparándolas, podemos hacer una selección de todas aquellas alteraciones del terreno que pueden afectar a nuestros cálculos. Éstas son, fundamentalmente, viales nuevos y que seleccionamos en base a su tipología: carreteras rurales (realizadas a partir de la década de 1960), el sistema de pistas agrarias a raíz de la concentración parcelaria, (realizada en esta zona a principios de los años 1990) y los viales forestales (desde cortafuegos hasta pequeños caminos que apenas pueden llegar a los 2 metros de ancho). Además, al tener como referencia el *Vuelo Americano* podemos identificar aquellos elementos que aparecen en el paisaje desde que se realizaron estas fotografías, y por tanto, saber que caminos se corresponden o no con el sistema tradicional o si una carretera actual transcurre sobre un camino anterior.

Así como empezamos a identificar en el entorno SIG estos elementos, los tenemos que seleccionar o bien con polígonos o bien con polilíneas a las que después aplicaremos una serie de *buffers* (como ha sido en este caso). En todo caso, independientemente del método que sigamos, es necesario atenerse a dos cuestiones. La primera es que esta selección debe tener un margen a mayores alrededor del elemento en cuestión, por ej.: si una carretera fruto de la concentración parcelaria en una llanura *rompe* con la pendiente natural (está más alta que el terreno circundante a ambos lados), tenemos que asegurarnos que cuando generemos el modelo restituido obtendremos una superficie continua. Si estamos ante un elemento que crea una terraza o caja en una pendiente con un fuerte desnivel (a un lado del elemento el terreno está más alto y al otro, más bajo), ocurre lo mismo, debemos asegurarnos que la cota más alta y la más baja se corresponden con la topografía previa a esa construcción, de forma que obtenemos un perfil más coherente con la realidad anterior. La segunda es que si no tenemos cuidado y las polilíneas, buffers o polígonos se cruzan entre ellas, al realizar el siguiente paso con el cual se eliminan los puntos, se eliminarán todos los puntos que se hallen por dentro de la sección (incluidos los puntos que queremos conservar). Lo que hemos hecho ha sido recortar los buffers, tal como se puede apreciar en la imagen.

Una vez que tenemos todos esos elementos debidamente seleccionados, tenemos que modificar la nube de puntos original de forma que en las zonas con los puntos correspondientes a los elementos a eliminar se genere un vacío de datos. De esa forma, al transformar la nueva nube de puntos mediante una *interpolación*,

el software genera la superficie uniendo los puntos más próximos entre sí. En el caso de las zonas vacías de datos, une los puntos de los márgenes, de forma que cubre esas zonas. Una vez finalizado este paso, ya tenemos nuestros modelos digitales con restitución



2, 3, 4 y 5. Mapa de relieve sombreado o hillshade, mapa de pendientes, Vuelo Americano Serie B y Ortofotografía actual del PNOA.

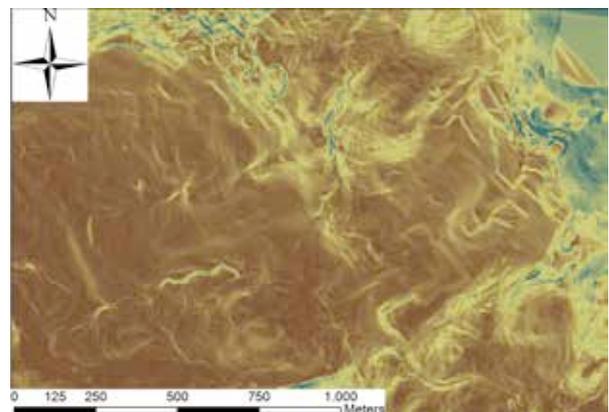
topográfica. Tal como podemos ver en este modelo de pendientes, ya no quedan indicios de la presencia de carreteras en la zona de estudio.

Para comprobar su efectividad, calculamos dos rutas entre tres núcleos de la zona. Para cada ruta, hacemos el cálculo sobre un modelo sin restitución y otro con restitución usando por un lado el algoritmo incorporado en ArcGIS y por otro el de Tobler para el cálculo de caminos de menor coste. Observando los resultados y si prestamos atención a la leyenda, deberíamos poder ver 4 rutas de colores distintos cuando estamos viendo 2. Esto se debe a que al no haber retirado las carreteras del modelo, el camino óptimo que calculamos tiende a seguirlas. Curiosamente, ambos algoritmos ofrecen exactamente la misma ruta como resultado. Si observamos los resultados obtenidos con el modelo *paleotopográfico*, vemos como obtenemos rutas diferentes a las anteriores y además se aprecian diferencias entre ambos algoritmos.

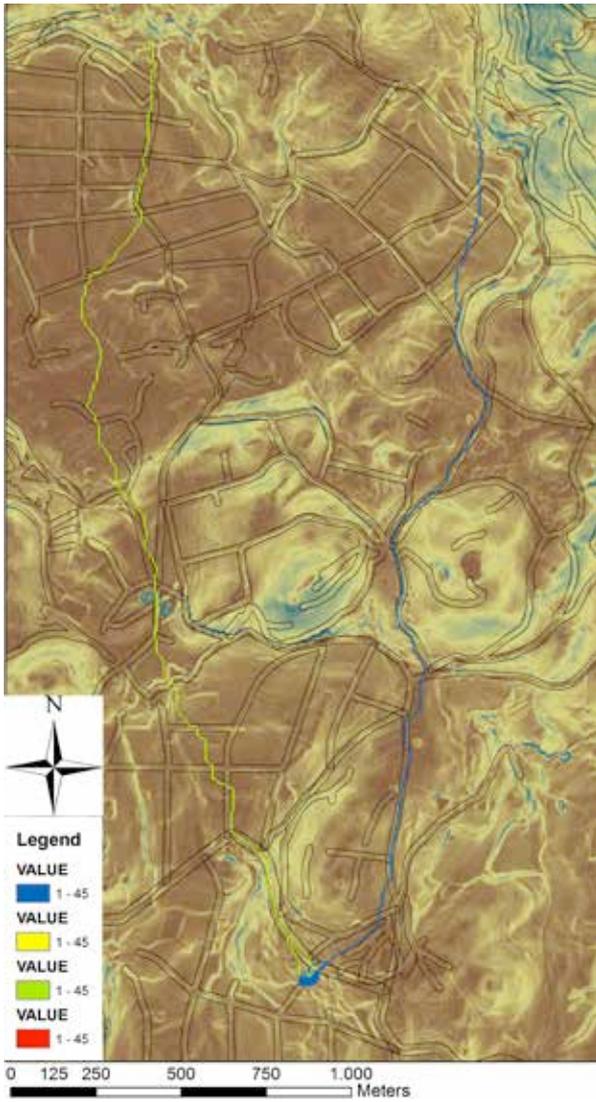
En conclusión, partiendo de un modelo basado en la topografía actual, los caminos óptimos tienden a seguir las carreteras actuales, mientras que si hacemos los mismos cálculos sobre un modelo *paleotopográfico*, obtendremos resultados diferentes. A nuestro juicio, esto demuestra la validez de nuestra propuesta.



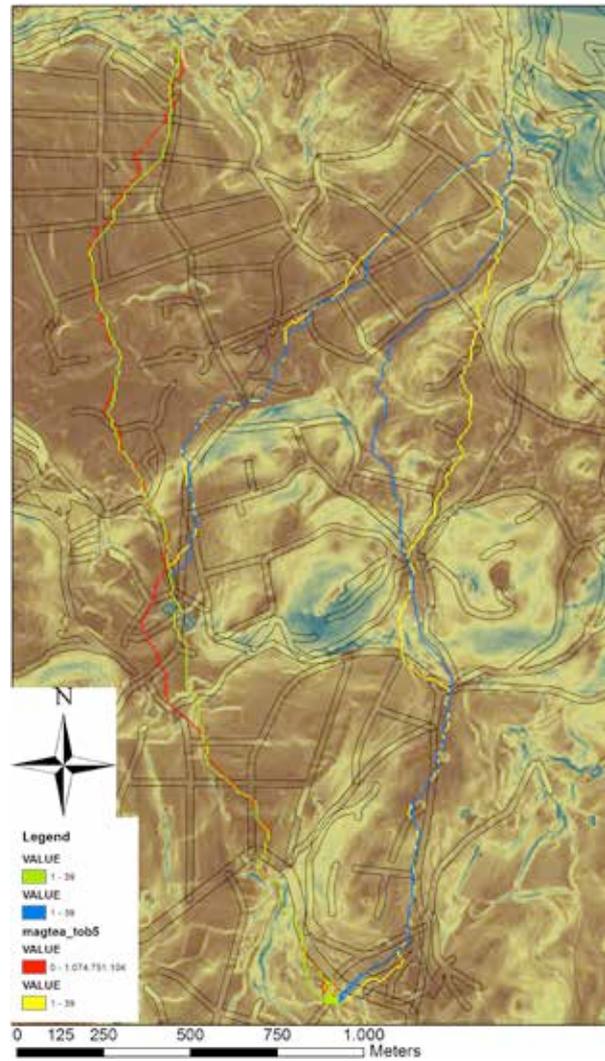
6. Captura de pantalla de Fugro Viewer del archivo LiDAR sin los puntos correspondientes a las carreteras.



7. Mapa de pendientes de 5m con restitución topográfica.



8. Rutas calculadas sobre un modelo sin restitución topográfica.



9. Rutas calculadas sobre un modelo con restitución topográfica.

BIBLIOGRAFÍA

PÁGINAS WEB

<http://www.ign.es/ign/main/index.do>

http://www.cmati.xunta.es/organizacion/c/Instituto_Estudios_Territorio <http://visorgis.cmati.xunta.es/cdix/mapa.html>

<http://rapidlasso.com/lastools/>