

La necrópolis del Monte de Santa Mariña revisitada: aportaciones del Lidar aéreo para la cartografía megalítica de Galicia

*The necropolis of "Monte de Santa Mariña" revisited:
Contributions from the aerial LiDAR for the Galician megalithic cartography*

Miguel Carrero-Pazos

Departamento de Historia I. Universidade de Santiago de Compostela
miguel.carrero@usc.es

Benito Vilas Estévez

Departamento de Historia I. Universidade de Santiago de Compostela

Emiliana Romaní Fariña

Departamento de Historia I. Universidade de Santiago de Compostela

Antón Abel Rodríguez Casal

Departamento de Historia I. Universidade de Santiago de Compostela

Resumen

El Lidar aéreo se ha constituido en la última década como una de las herramientas más interesantes para la prospección arqueológica, puesto que permite, entre otras cosas, analizar el terreno con gran detalle obviando la vegetación. Planteamos un ejemplo de las posibilidades que para el Megalitismo la tecnología Lidar puede proporcionar. Para ello, hemos elegido la necrópolis megalítica del Monte de Santa Mariña (provincia de Lugo, Galicia), que cuenta con una treintena de monumentos catalogados. Para el estudio del terreno se ha procedido a diseñar una metodología de prospección arqueológica basada en datos Lidar que, gracias a diferentes análisis visuales propuestos, han permitido situar los monumentos correctamente e incluso encontrar uno nuevo.

Palabras clave

Lidar, Sistemas de Información Geográfica, Megalitismo, Santa Mariña.

Abstract

Over the last decade, the aerial Lidar has been constituted as one of the most interesting tools for the archaeological survey, because it allows, among other things, to analyze the field in detail, specially obviating the vegetation. Thus, we propose an example of the possibilities that Lidar technology could provide in the case of Megalithic culture. Furthermore, we have chosen the megalithic necropolis of Monte de Santa Mariña (Lugo, Galicia), which had some thirty-four monuments officially cataloged. Consequently, before starting the archaeological survey we have planned a methodology based on Lidar data. In fact, thanks to the study of different types of visual analysis proposed by some authors, we were able to identify correctly the whole of all the monuments and even find a new one.

Keywords

Lidar, Geographic Information Systems, Megalithic culture, Santa Mariña.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la informática es una herramienta fundamental en la formación y la praxis del arqueólogo, tanto personal como profesionalmente. Desde la década de los años setenta del siglo pasado la disciplina arqueológica fue sumándose paulatinamente a los avances que las innovaciones informáticas iban proporcionando a la sociedad en general. En este sentido, la arqueología ha adoptado todo tipo de herramientas informáticas en su praxis diaria, tanto teórica-metodológica como práctica. Una de las principales son las Tecnologías geoespaciales, un conjunto de herramientas de trabajo que proporcionan análisis que difícilmente podrían ser realizados de forma manual, además de plantearnos nuevas perspectivas del estudio del pasado que en parte se nos mostraban inaccesibles.

El Lidar (*Light Detection and Ranging*) es un sistema activo que genera la energía o pulso láser de luz que permite hacer las mediciones y cálculos, basado en un sensor que emite un haz sobre la superficie terrestre. Como es bien sabido, forma parte del grupo de tecnologías de teledetección, clasificadas en función de su tipología analítica, en los denominados TLS (*Terrestrial Laser Scanning*), o los sistemas aéreos ALS (*Airborne Laser Scanning*) - ALSM (*Airborne Laser Swath Mapping*)¹.

Indiquemos a modo introductorio, que se trata, junto con la fotogrametría, de la forma más común de documentación geométrica del territorio.

El Lidar es un sensor láser, generalmente adaptado a una plataforma aérea (bien sea una avioneta, helicóptero o globo aerostático, entre los más comunes) que emite un haz de luz sobre la superficie terrestre, y desviado por un espejo, barre el terreno transversalmente hasta un cierto ángulo. El Lidar mide el tiempo que tardan los pulsos en llegar a la superficie terrestre y regresar al sensor. A su vez, un receptor GPS determina la posición del emisor, y una unidad de medición inercial determina la orientación del sensor. Con estos datos se calculan las coordenadas de los pulsos recogidos por el sensor (dz~15-20 cms), que van siendo almacenados informáticamente como una nube de puntos.

Desde una perspectiva general, el Lidar cuenta, al menos, con cuatro ventajas sobre la fotogrametría, como podemos observar a continuación²:

Lidar	Fotogrametría
Toma de datos diurno y nocturno. Puede verse afectado por las condiciones atmosféricas como nubes, lluvia o niebla.	Toma de datos diurna. Se ve afectada por la generación de sombras.
Adquisición directa de datos 3D	Procedimientos más complejos
Capacidad de penetrar en la vegetación para obtener así información de la superficie topográfica	No penetra en la vegetación

La principal relevancia de los datos Lidar es justamente la resaltada en la tabla arriba indicada: la capacidad de penetrar en la vegetación para poder observar la superficie

1 Para un trabajo pormenorizado, puede consultarse el monográfico de CRUTCHELY y CROW (2009), disponible en papel o en versión pdf online (gratuita): <https://www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/light-fantastic.pdf>.

2 GONÇALVES-SECO, L., FONTE, J. 2014. Curso Tecnologías Digitales de Documentación geométrica y representación del patrimonio-2014. Módulo 1: Generación de contextos y escenarios digitales a partir de Lidar aéreo. Santiago de Compostela: CSIC.

topográfica. Además y en el caso de datos clasificados, podremos seleccionar qué vegetación (media, alta o baja) podemos obviar o mantener. Una herramienta que, diseñada en un principio para aplicaciones forestales, proporciona alta potencialidad en prospección arqueológica.

El uso del Lidar en arqueología

Los estudios y ensayos relativos al desarrollo y puesta en marcha de los sistemas láser para aplicaciones relacionadas con la altimetría se iniciaron en la década de los sesenta del siglo XX. Pero no será hasta finales de los noventa cuando se aplique dicha tecnología a la fotogrametría y la teledetección, así como a proyectos de desarrollo de bases de datos geoespaciales, que hasta aquel momento se centraban en el uso de la información altimétrica para apoyar proyectos fotogramétricos, como por ejemplo, la producción de ortofotos y ortoimágenes o la generación de curvas de nivel, ambos sostenidos en Modelos Digitales del Terreno (SAN JOSÉ ALBACETE 2011). A partir de aquí, el desarrollo de técnicas de estudio utilizando datos Lidar ha experimentado un notable impulso debido a la gran versatilidad de sus múltiples aplicaciones.

Los datos Lidar han sido aplicados tradicionalmente a los campos de la geomorfología, la silvicultura, y al estudio de los ecosistemas forestales (VIERLING, *et al.* 2008). Asimismo, también se han empleado para los estudios de riesgo de inundaciones, modelos para el estudio y gestión del litoral, cartografiado de las líneas eléctricas, etc. (DÖNEUS, *et al.* 2008; 2013; RUIZ, KORNUS 2003).

En el caso de la arqueología la adopción de la tecnología Lidar comenzó a ser utilizada en la primera década del siglo XXI, si bien algunos autores ya anticipaban su uso para la detección de fosas, muros y otro tipo de construcciones (ACKERMANN 1999). En este sentido, el Lidar se ha conformado como una herramienta muy potente y útil en los campos de la prospección arqueológica y arqueología espacial, especialmente en la generación de los modelos digitales del terreno (MDT) (BENNETT 2011; BENNETT *et al.* 2012a; 2012b; GDAL 2014).

Ahora bien, la utilización de dicha tecnología en arqueología no tiene por qué funcionar de manera independiente, y su uso junto con el de otros datos también puede aportar grandes novedades como lo demuestran diversos estudios. Así, por ejemplo, tenemos los trabajos centrados en la generación de modelos digitales de elevación a partir de los datos Lidar, integrándolos con otros en cierto modo más convencionales, como el tipo de suelo, la geomorfología, la geología o los mapas paleográficos (VAN ZIJVERDEN, LAAN 2003).

Mediante el uso combinado de estos datos, junto con el de un multi-sensor aéreo remoto para la obtención de datos CASI (*Compact Airbone Spectographic Imager*) y un mapa temático aéreo, autores como Rowlands y Sarris pudieron localizar en *Itanos* (Creta) nuevos sitios arqueológicos y otras estructuras (ROWLANDS, SARRIS 2007).

Por otra parte, investigadores italianos usaron los datos Lidar junto con imágenes hiperespectrales para así mejorar la información arqueológica del área de Aquileia. El uso de este tipo de imágenes les permitió definir más nítidamente las especificaciones de humedad, vegetación y las condiciones térmicas, mientras que el uso de datos Lidar les pro-

porcionó precisa información geométrica. El tratamiento integrado de los mismos les permitió, con una buena precisión, detectar las características de la superficie bajo el suelo. La detección de estas áreas se logró mediante el uso de diferentes filtros (COREN *et al.* 2005).

Vuelo fotogramétrico y Lidar en Galicia

La Administración General del Estado dispuso por normativa oficial que la producción cartográfica se realizaría de manera descentralizada por en cada Comunidad Autónoma, siendo el Instituto Geográfico Nacional el responsable de la validación final y la integración de los productos resultantes. En este sentido, en Galicia se ocupa de la gestión de la información fotogramétrica el *Instituto de Estudos do Territorio* (IET)³, de la *Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas de la Xunta de Galicia*. Como plataforma para la gestión de los productos cartográficos se creó en 2007 la *Infraestructura de Datos Espaciais de Galicia*⁴.

En 2012 el IET creó el *Centro de Descargas de Información Xeográfica* (CDIX)⁵, una aplicación web para el acceso a la información geográfica de Galicia, mediante la descarga libre y en formato abierto de todas las series cartográficas, incluidas las hojas de vuelo Lidar.

La nueva actualización del Modelo Digital del Terreno se realizó a partir de los datos Lidar, tomados en dos períodos: para el año 2009 se cubrió la parte Este, correspondiente a las provincias de Lugo, Ourense, y la parte sur de la provincia de Pontevedra y para el año 2011 el territorio al Oeste, perteneciente a la parte norte de esa provincia y la de A Coruña en su totalidad⁶.



Figura 1. Proyecto PNOA. 2008-2012: Cobertura Lidar (6).

3 http://www.cmati.xunta.es/organizacion/c/Instituto_Estudios_Territorio.

4 <http://sitga.xunta.es/sitganet/>.

5 <http://visorgis.cmati.xunta.es/cdix/mapa.html>.

6 http://www.ign.es/PNOA/imgs/vuelo_Lidar_web.jpg.

Dado que los vuelos fueron realizados en momentos diferentes y en consecuencia tienen disimilitudes entre los puntos tomados, en algunas hojas se puede elegir directamente el tipo de puntos a observar y en otros no. Estas diferencias pueden ser solucionadas con un trabajo de clasificación de puntos. En este sentido, cada punto Lidar puede tener una clasificación asignada que define el tipo de objeto que reflejó el pulso láser, incluyendo, por ejemplo, el suelo o terreno desnudo, la parte superior de cubierta forestal o agua. Las diversas clases se definen mediante códigos numéricos de enteros en el archivo *Las*. Dichos códigos de clasificación han sido definidos por la *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS), con su valor de clasificación⁷:

0 Nunca clasificado	7 Ruido
1 No asignado	8 Clave de modelo
2 Suelo	9 Agua
3 Vegetación baja	10 Reservado para la definición de la ASPRS
4 Vegetación media	11 Reservado para la definición de la ASPRS
5 Vegetación alta	12 Superponer
6 Edificio	13-31 Reservado para la definición de la ASPRS

Pese a la problemática señalada, las ventajas son mayores que los inconvenientes. Y para la localización y documentación de túmulos megalíticos, objeto de nuestro estudio, el análisis del terreno a partir de los datos Lidar proporciona claros avances a la hora de plantear una investigación arqueológica de base, como podemos ver a continuación⁸:

1. Con respecto a la prospección del terreno, dado que nos permite observar anomalías superficiales que pueden ser comprobadas en el campo (desde pequeños túmulos hasta castros, afloramientos naturales o construcciones de diferente tipología) tanto para zonas de monte bajo o de pastizal como para bosques o zonas de vegetación densa, que en Galicia son muy comunes. En este sentido, y como señalábamos anteriormente, es esta una de las mayores ventajas que proporciona el Lidar, y en nuestro territorio tiene mayor importancia porque la prospección intensiva es prácticamente imposible de realizar en ciertas zonas debido a la densa vegetación, que hace impracticable el análisis directo sobre el terreno.

2. Porque nos permite una revisión de la base de datos de monumentos de prospecciones de años anteriores, que necesitan ser actualizadas, y por tanto vamos más allá del mero análisis fotointerpretativo, inútil en zonas boscosas.

3. Dado que los datos LiDAR son geométricos, podemos tomar medidas de los terrenos y, por ende, la altura y perfil de los túmulos megalíticos que podamos observar. No obstante, somos conscientes de que existen errores en la precisión de los datos, pero en todo caso son poco importantes para la escala de los elementos que aquí se estudian.

7 Sobre la clasificación de puntos puede consultarse:

<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//015w0000005q000000>

8 Nos ha sido de mucha utilidad para la elaboración del presente trabajo, la asistencia de dos de los firmantes (M.C.P. y B.V.E.) al curso de Posgrado de Especialización del CSIC "Tecnologías Digitales de Documentación Geométrica y Representación del Patrimonio" (1 Edición, 2014).

4. Nos permite realizar un modelo digital del terreno de gran calidad, en torno a dos metros de resolución, frente a los más convencionales de 25-50 metros, dependiendo siempre de si empleamos los datos de los primeros vuelos (Lugo-Ourense) o de los más recientes (A Coruña-Pontevedra).

Por tanto, aparte de constituirse como uno de los pilares formales de la investigación básica, esta tecnología también lo es de la investigación aplicada, en este caso de forma analítica. Estamos así en condiciones de generar datos susceptibles de estudio sin necesidad de ir al campo, si bien es fundamental que la “prospección informática” de una zona determinada siempre deba ser justificada con el trabajo de campo, donde podría comprobarse directamente la veracidad de los puntos de interés arqueológico.

LA APLICACIÓN DEL LIDAR PARA LA DETECCIÓN DE TÚMULOS MEGALÍTICOS

Los estudios de identificación de sitios arqueológicos con tecnología Lidar se encuentran a día de hoy en paulatino desarrollo. Si comparamos la evolución historiográfica de otras zonas, podemos observar que en Galicia existen bastantes aportaciones que se han centrado en el desarrollo de modelos de estudio derivados de esta metodología, casi siempre enfocados a yacimientos de la Edad del Hierro (Fonte, Gonçalves, 2010a, 2010b; Fonte *et al.*, 2014; Blanco Rotea, *et al.*, 2014). Sin embargo, aunque no contamos en la actualidad con un estudio integral para la detección de túmulos megalíticos de Galicia, sí existen aproximaciones parciales de investigadores que han ido incorporando dicha metodología de estudio en trabajos sobre determinados yacimientos (MAÑANA BORRAZÁS *et al.*, 2010; FONTE, GONÇALVES 2012; LÓPEZ ROMERO, MAÑANA BORRAZÁS 2013; CARRERO PAZOS, VILAS ESTÉVEZ 2015), y otros que se han ocupado de desarrollar nuevos filtros de visualización que permiten una mejora en la detección de estructuras arqueológicas desde una perspectiva general (PIRES, *et al.* 2013; PIRES *et al.* 2014).

Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo (8), hemos utilizado el software *ArcGIS 10.1*, *QGIS* (*Open Source*), *Saga GIS* (*Open Source*) y la *toolbox lastools*. Asimismo, hemos complementado nuestros análisis con el software *Relief Visualization Tool* (RVT) para aplicar filtros a los datos, buscando contrastes de visualización que nos puedan indicar nuevas estructuras tumulares en el terreno.

Desde una perspectiva general, la mayor parte de los investigadores que se ocupan del desarrollo e implementación de los métodos de visualización a partir del MDT generado por datos Lidar, se centran básicamente en cuatro técnicas o herramientas, que se corresponden con productos finales que el usuario puede obtener:

1. *Hillshade*: es el método de visualización más común. Utiliza una técnica de iluminación del modelo digital del terreno con luz direccional, simulando un determinado ángulo de iluminación del sol que puede ser modificada manualmente. Esto provoca que existan zonas incididas directamente por la luz y que por lo tanto son

visibles, y otras que no. El usuario puede desarrollar opciones de visualización en base a varias variables, como la elevación de la iluminación, el azimut o la exageración vertical. Modificando la óptica podemos tener distintas perspectivas de la representación topográfica.

2. *Sky-view factor* (KOKALJ *et al.* 2011, 2013; ZAKŠEK *et al.* 2011): se trata de una técnica de iluminación simulada de un modelo digital del terreno con luz difusa. La luz tiene varias direcciones y el brillo de los píxeles depende de la proporción del cielo que sea visible. Gracias al desarrollo de esta técnica, determinados elementos de la superficie topográfica se apreciarán mucho mejor que en el *hillshade*, mostrando superficies elevadas que reciben más iluminación y depresiones topográficas en forma de sombras. Una posible variación a tener en cuenta es el filtro *Anisotropic sky - view factor*, que calcula la iluminación en múltiples direcciones (ZAKŠEK, *et al.* 2012).
3. *Slopesshade*: se trata de una combinación del cálculo de pendientes y el *hillshade*. Puede resultar conveniente en ciertas zonas, al resaltar más la pendiente del terreno e incluso mejorar considerablemente la calidad de nuestra visualización topográfica.
4. *Local Relief Model* (HESSE 2010, 2013): técnica que realiza una representación de la superficie topográfica con valores de elevación a escala local. Este tipo es muy interesante porque genera un mapa de colores en el que se pueden observar formas positivas y negativas, que gracias a un filtro *resampling*, proporciona resultados muy interesantes.
5. *Morphological relief model* (PIRES *et al.* 2013, 2014): consiguen una clara mejora visual para la detección de túmulos megalíticos, pues utilizan un algoritmo de decimación para producir una malla gruesa similar a la del modelo original, pero a su vez libre de detalles morfológicos, para conseguir así mejorar los efectos de la superficie gracias a filtros de suavizado.

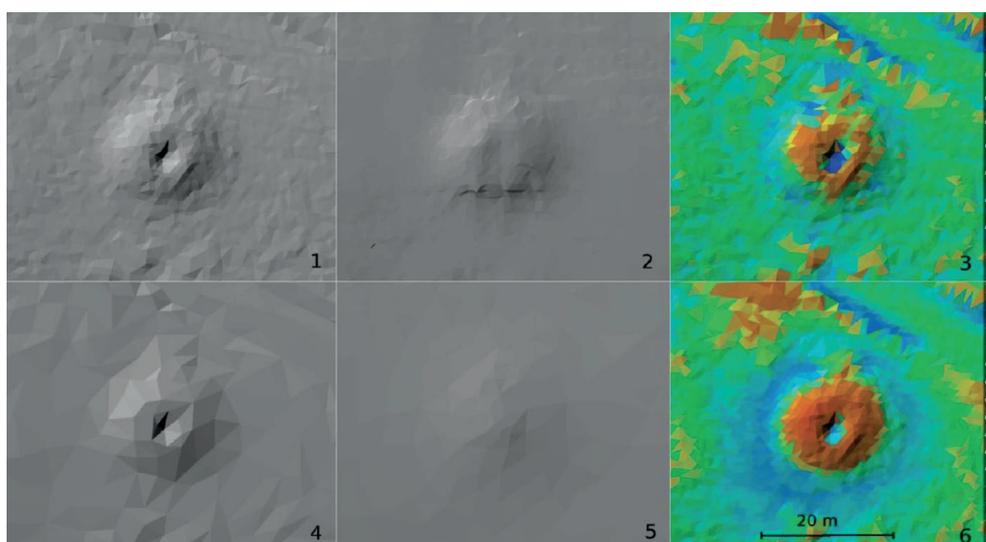


Figura 2. Comparación de los resultados del MRM en un túmulo funerario. 1) TIN original; 2) resultado del filtro de suavizado *Laplacian*; 3) Resultados del MRM; 4) Malla diezmada al 90%; 5) resultado del filtro de suavizado *Laplacian* aplicado a la malla diezmada; 6) Resultados del MRM con malla diezmada (PIRES, *et al.* 2013).

La necrópolis megalítica del Monte de Santa Mariña como modelo

La necrópolis del Monte de Santa Mariña se localiza sobre una meseta que casi alcanza los 800 m. de altitud máxima, en el interfluvio de los ríos Oribio y Mao. Nos encontramos en las Tierras de Sarria/O Incio (provincia de Lugo), justo en el límite de los términos municipales de Sarria, Samos y O Incio. Es esta una zona de llanuras, interfluvios, sierras y depresiones propias de la Galicia Centro-oriental (YEBRA 1990).

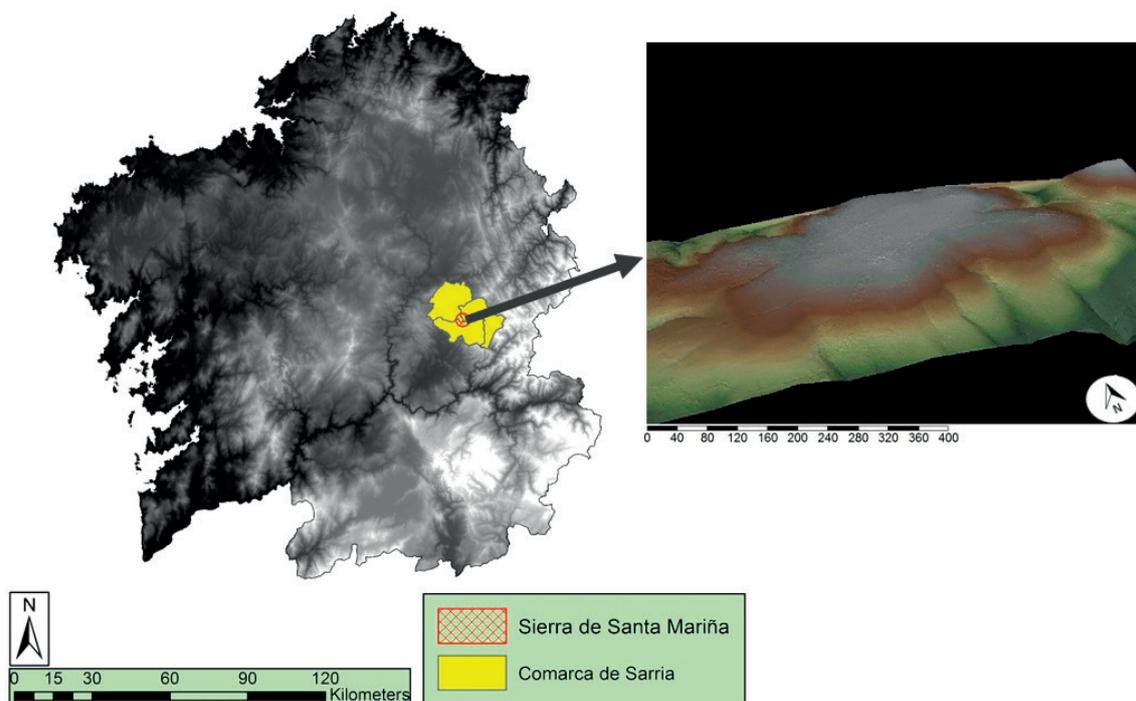


Figura 3. Comarca de Sarria y el área de estudio, representada con un TIN (*Triangulated irregular network*) de la altiplanicie. Factor de incrementación Z de 2x.

La necrópolis megalítica del Monte de Santa Mariña fue declarada BIC en el año 2007 (BOE nº11-12/01/2007: 1792-1794). Por aquel entonces, “*se identificaban en el monte del mismo nombre 44 yacimientos o elementos arqueológicos, 40 de ellos a monumentos tumulares o medorras, nombre este último con el que se designa en la zona a esta categoría de yacimientos, tres grabados rupestres y un elemento adscribible cuando menos a época moderna (camino real)*” (BOE nº11, 12/01/2007: 1792). Con anterioridad, concretamente en 1968 aparece citada por vez primera en la “*Carta Arqueológica del Ayuntamiento de O Incio*”, de la mano de F. Acuña Castroviejo, M. C. García Martínez y X. M. González Reboredo. En 1987, desde la Xunta de Galicia fueron catalogados oficialmente un total de veintinueve túmulos. Posteriormente, en 1991, T. Rodríguez Fernández registra un total de cuarenta monumentos. Tres años más tarde, el número se rebaja a treinta y cuatro, señalándose la posibilidad de que seis fueron destruidos por en aquellos años (FILGUEIRAS, FERNÁNDEZ 1994: 221).

La zona fue asimismo estudiada por el profesor A. A. Rodríguez Casal a inicios de los años noventa del siglo pasado, en el marco del *Proyecto Arqueológico Val do Sarria-Val*

do Mao. Según indica el autor, se llevaron a cabo labores de prospección intensiva en el terreno, registrándose treinta monumentos al tiempo que se descartaron una decena de los catalogados anteriormente (RODRÍGUEZ CASAL 1998; RODRÍGUEZ CASAL *et al.* 1998).

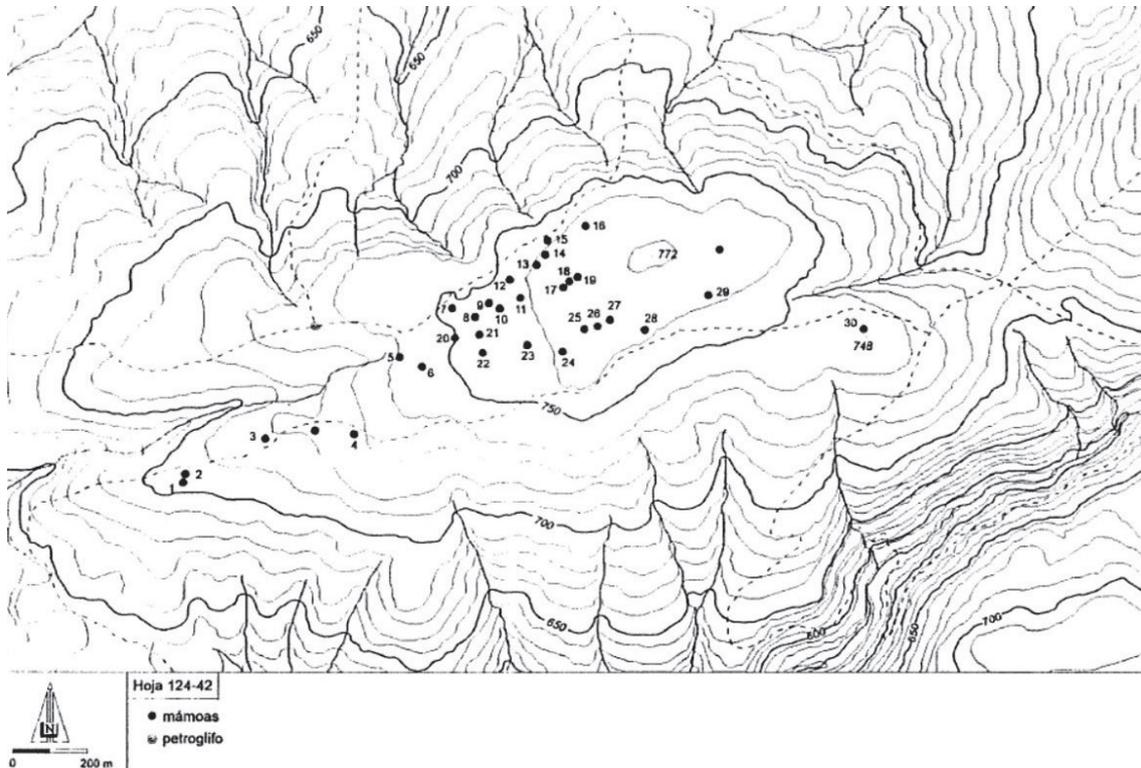


Figura 4. Plano del conjunto megalítico de Santa Mariña (RODRÍGUEZ CASAL 1998: 124).

En cuanto a la revisión realizada con la tecnología Lidar, se ha consultado el inventario oficial de la Xunta de Galicia, que hace referencia a cuarenta monumentos, y también la catalogación del año 2007 cuando la necrópolis fue declarada BIC. Del estudio generado se establece el mapa de la protección de cuarenta monumentos, que curiosamente no se corresponden con el inventario oficial que obra en la Xunta de Galicia.

Comparando los anteriores catálogos oficiales con los de los proyectos de investigación de la Universidad de Santiago de Compostela, se observan anomalías tanto cuantitativas como cualitativas, lo cual nos ha obligado a analizar con detalle las semejanzas y diferencias entre los tres mapas de distribución megalítica.

Actualización del mapa de distribución tumular del Monte de Santa Mariña

El estudio con Lidar nos ha permitido afinar las coordenadas geográficas (UTM) de los monumentos, tomadas en campo por los anteriores investigadores con GPS convencionales, que a menudo pueden contar con, al menos, 5-10 metros de error. Para facilitar su comprensión y lectura, hemos procedido a ajustarlas y unificarlas en *Datum* ETRS89. Además, se ha utilizado como cartografía base el *hillshade* de la zona cruzado con el filtro *resampling* ya que, al resaltar las zonas elevadas en color azul intenso y las zonas

negativas (zanjas, depresiones, hondonadas, etc.) en tonos rojizos, proporciona claras mejoras visuales de los túmulos sobre las ortofotos o el *hillshade* simple.

Partimos del mapa de Rodríguez Casal (1998: 124), donde se registraron un total de 30 monumentos megalíticos, que se mantienen en la actualidad. Tras el procesado de los datos Lidar, los yacimientos arqueológicos han sido comprobados en campo y todos se encuentran correctamente registrados.

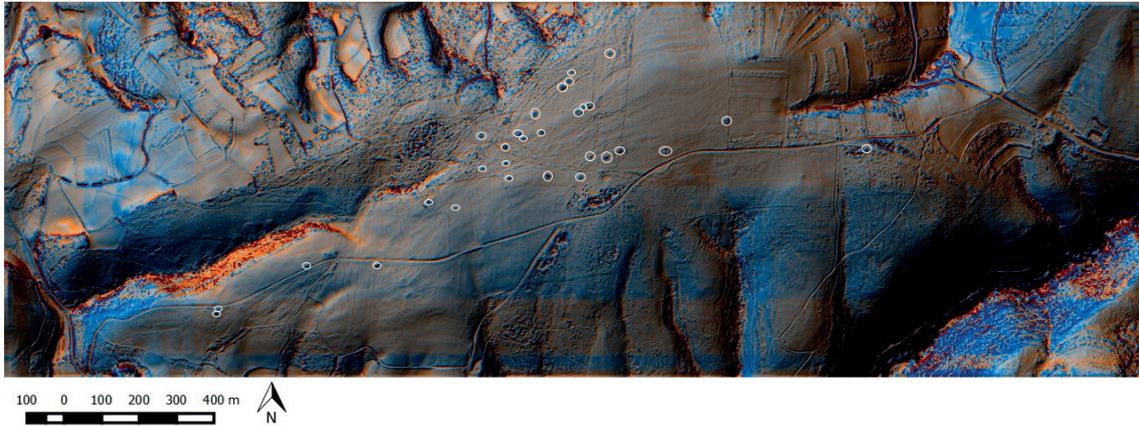


Figura 5. Distribución tumular del Monte de Santa Mariña (Grupo de Investigación 1520 de la USC).

El mapa de la declaración de BIC, consta de un total de 40 estructuras tumulares, de las que ocho no se corresponden con sitios arqueológicos (en concreto los números: 3, 5, 6, 7, 8, 22, 37 y 40).

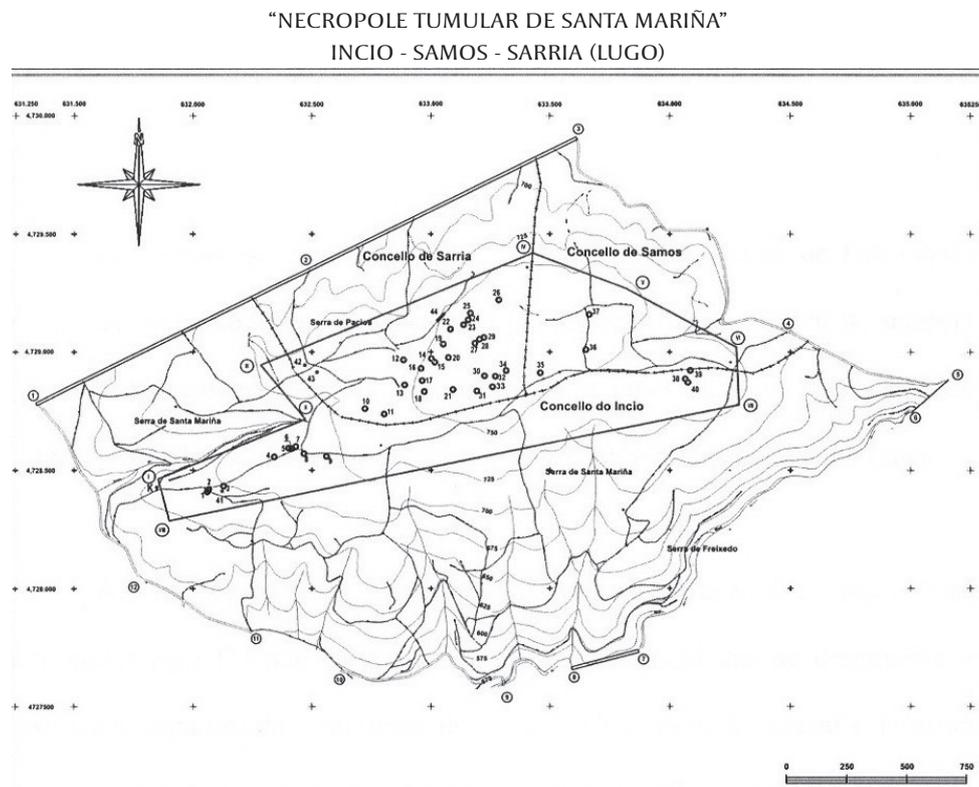


Figura 6. Hoja de la declaración BIC de la necrópolis megalítica de Santa Mariña, con la zona arqueológica y el contorno de protección indicado (BOE, nº11, 12/01/2007).

Los números 5 y 6 coinciden con acumulaciones de tierra y piedras procedentes de la apertura de la pista de acceso, hecho ya señalado años atrás (RODRÍGUEZ CASAL 1998: 123).

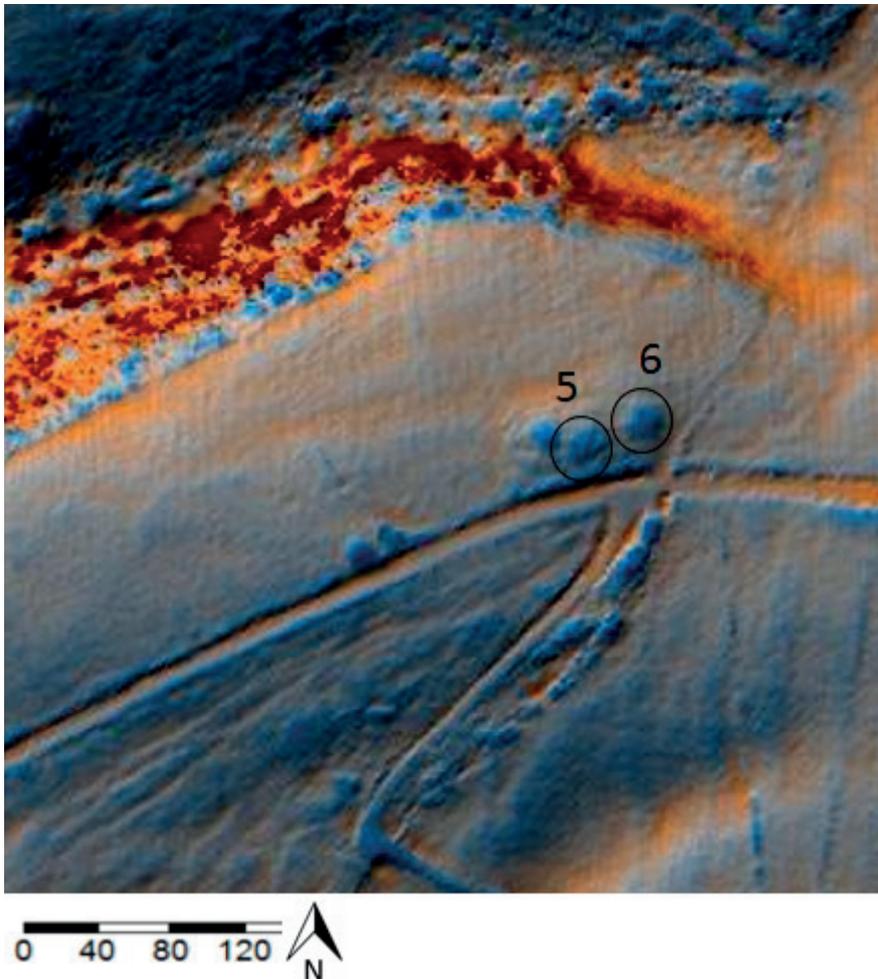


Figura 7. Elementos descartados del mapa BIC por corresponderse con acumulaciones de tierra procedentes de la apertura de pistas.

El mapa que nosotros hemos creado tras la consulta del citado inventario de la Xunta de Galicia cuenta con 40 monumentos, el último de ellos añadido en 2012.

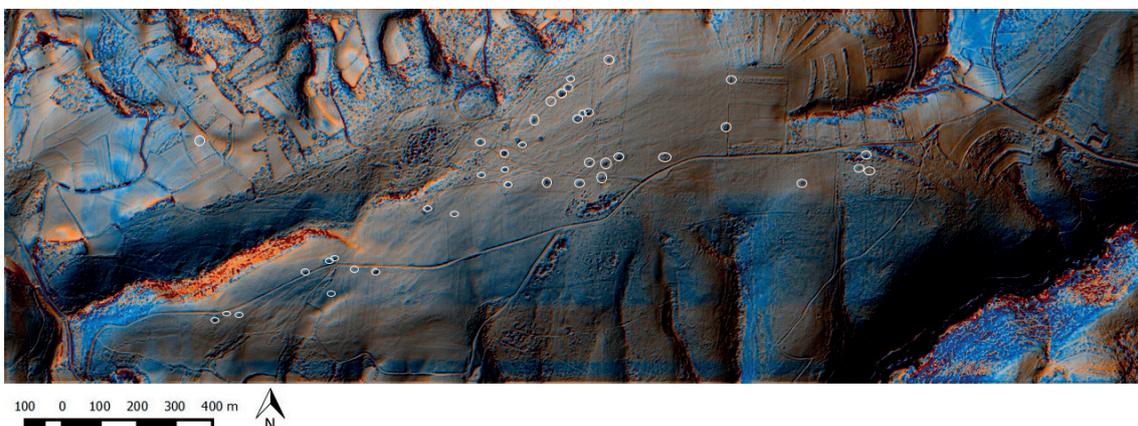


Figura 8. Distribución de la necrópolis del Monte de Santa Mariña según el Inventario Patrimonial de la Xunta de Galicia.

Sorprende que no se correspondan en su totalidad con los declarados BIC (compárese con la figura 6) debido a algún error o no haber sido actualizados. Además existen algunos otros que no han sido registrados, como veremos más adelante. Del total de monumentos catalogados, nueve han sido descartados tras el trabajo de campo realizado, tal como indicamos.

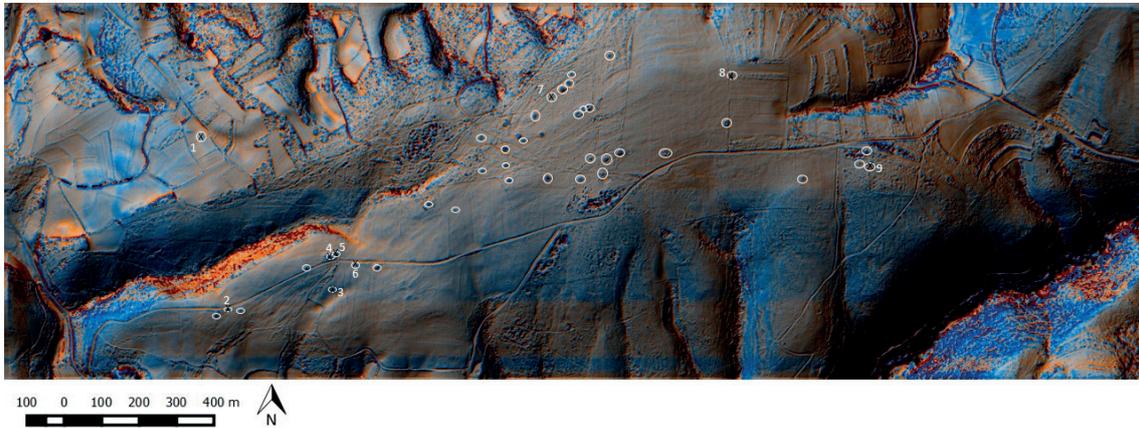


Figura 9. Elementos descartados del Inventario Patrimonial de la Xunta de Galicia.

En concreto, los números 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se corresponden con acumulaciones recientes de tierra y piedras sin interés arqueológico. El punto 1 se corresponde con una pequeña colina natural, en una división de fincas y el 8 y 9 pudieron haber sido en su momento estructuras tumulares, pero hoy en día no existen evidencias que puedan confirmarlo.

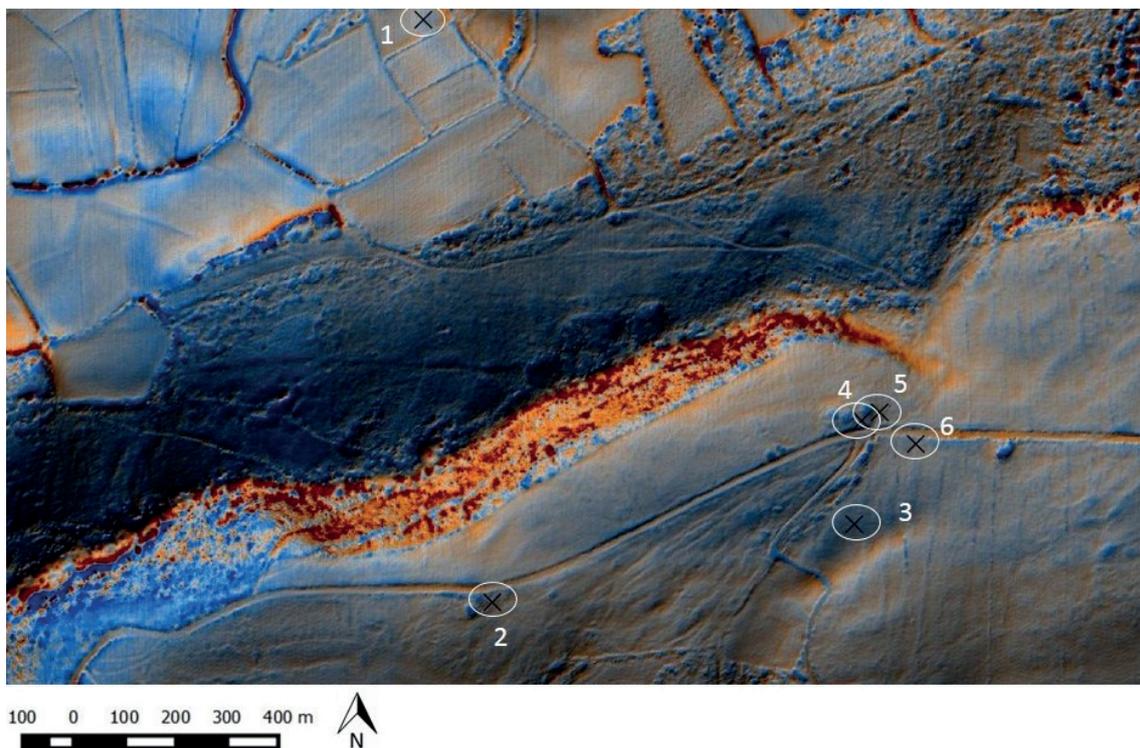


Figura 10. Detalle de elementos descartados (I).

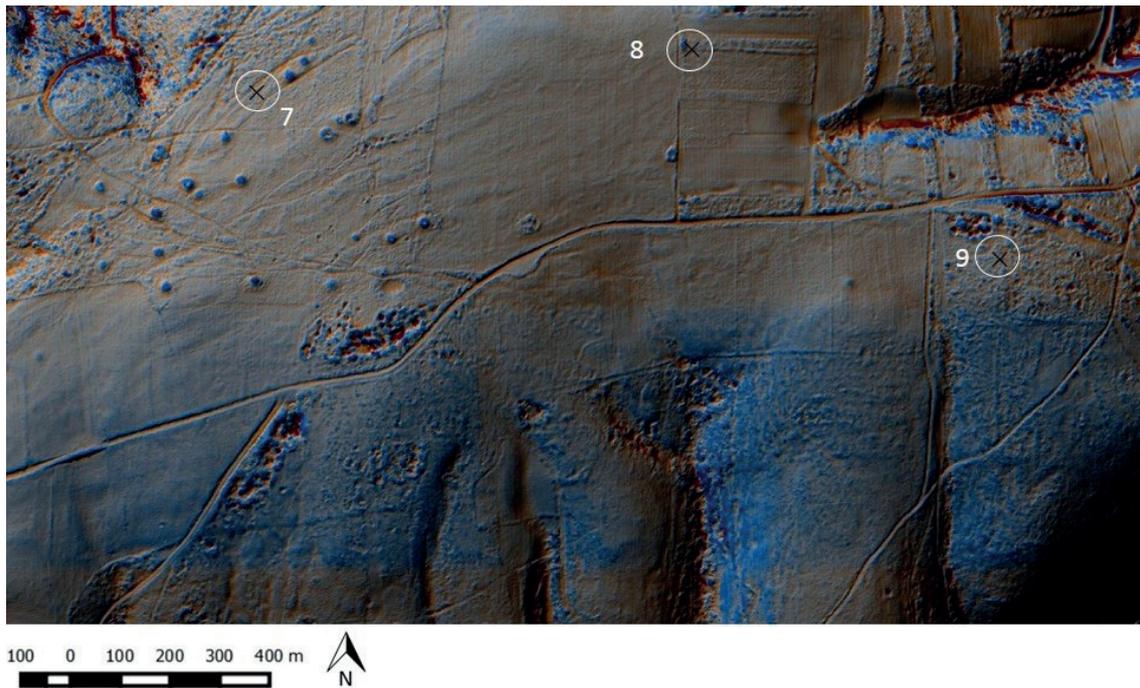


Figura 11. Detalle de elementos descartados (II).

Sorprende que tanto el mapa BIC como el catálogo oficial de la Xunta de Galicia a pesar de tener 40 monumentos megalíticos con algunas diferencias entre ellos, no tenían registrados otros monumentos sí catalogados anteriormente por Rodríguez Casal (1998), que de hecho sí eran estructuras tumulares (véase figura 5). De ahí la gran divergencia entre los tres mapas adjuntos. Lo que pretendemos a continuación es proponer un mapa más afinado de la necrópolis.

El mapa actualizado que presentamos registra 34 estructuras tumulares, con un monumento inédito localizado tras el estudio del terreno, una vez detectado desde el laboratorio. Las coordenadas corregidas se incluyen al final como documento anexo.

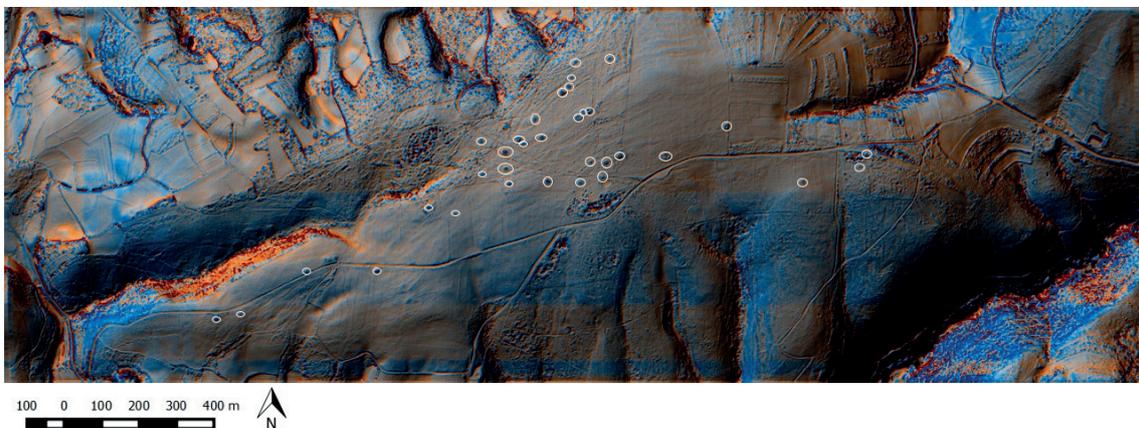


Figura 12. Mapa de la necrópolis del Monte de Santa Mariña actualizado.

El procedimiento metodológico seguido se ha basado en la planificación y definición de la prospección arqueológica con Lidar. En este sentido, la aplicación de los diferentes filtros visuales, ya comentados, nos han permitido observar las anomalías del terreno, y por lo tanto, observar puntos a priori de interés y que podrían corresponderse con estructuras tumulares. Del análisis de un total de 18 posibles puntos arqueológicos visitados en campo, sólo uno de ellos dio un resultado positivo.

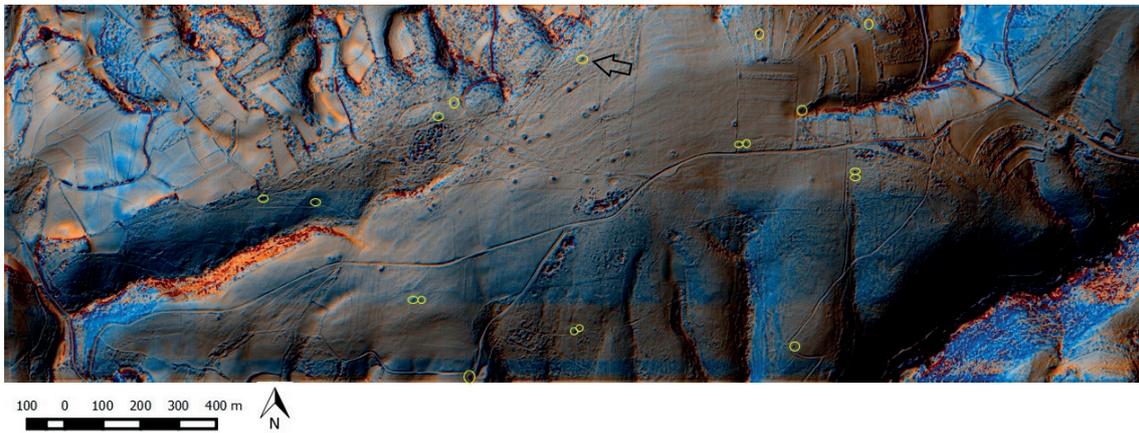


Figura 13. Puntos revisados y señalización del nuevo monumento megalítico.

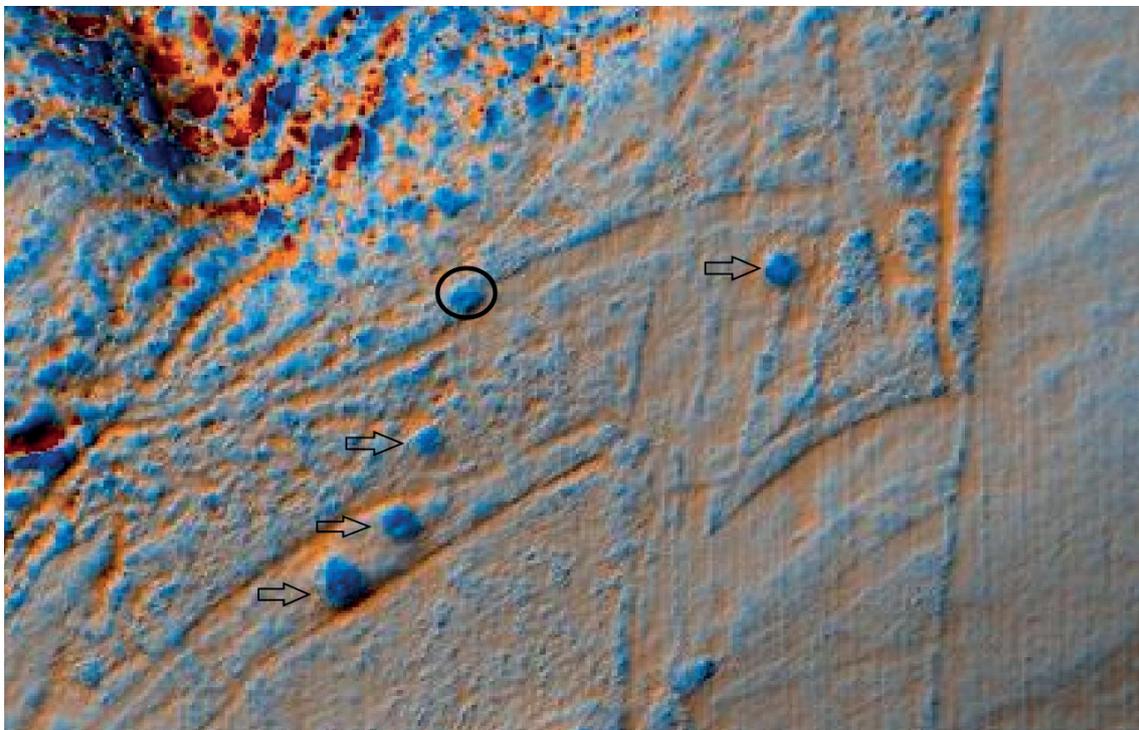


Figura 14. Señalización del nuevo túmulo junto a otros ya conocidos.



Figura 15. Vista actual del monumento.

Por último, indicar a modo de conclusión que el mapa final, que consta de 34 estructuras megalíticas se basa pues en el publicado por Rodríguez Casal (1998), junto con tres monumentos del catálogo oficial de la Xunta de Galicia, más uno nunca antes catalogado, resultado del estudio del terreno con el Lidar.

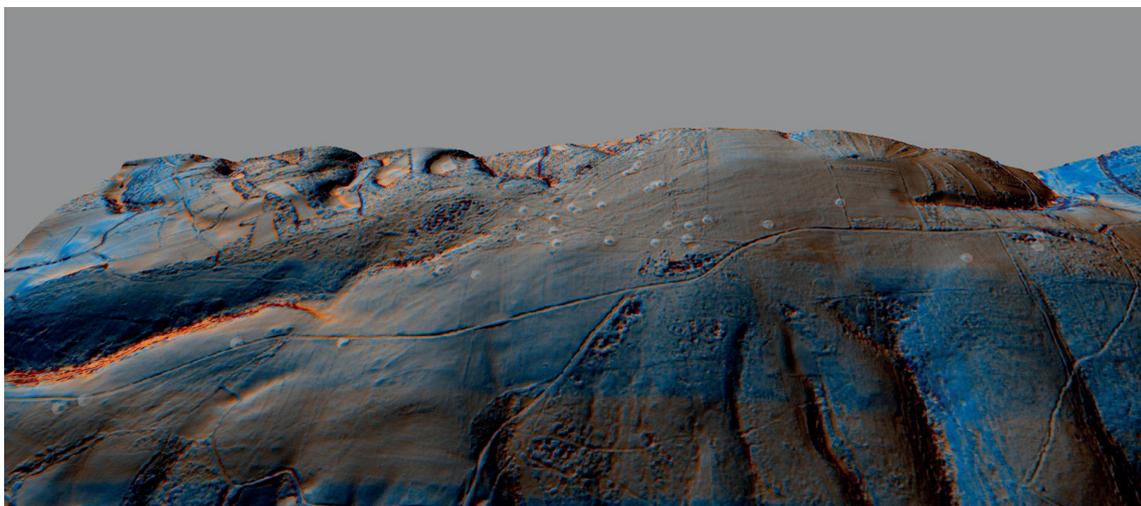


Figura 16. Cartografía en 3D de la necrópolis de Santa Mariña.

PERSPECTIVAS EN LA INVESTIGACIÓN

La principal limitación de la metodología empleada puede parecer obvia, por tratarse de la dificultad de discernir desde el laboratorio si lo que estamos observando es un yacimiento arqueológico prehistórico o una estructura, del tipo que sea, de época histórica.

Sin embargo, sabemos de otros grupos de investigación que están tratando de avanzar por la vía de la detección semiautomática de estructuras tumulares mediante software informático. Con ello, se podrán paliar aquellas deficiencias, en unos casos, por ejemplo, estableciendo patrones de diámetros básicos de las superficies tumulares y resaltando las porciones del terreno que se asemejen a ellas (RILEY 2009; TRIER, PILØ 2012; STULAR *et al.* 2012; TRIER, PILØ 2014). Sin embargo, la dificultad que entraña el método queda patente no sólo por tener que contar con un *corpus* documental de datos tan amplio que nos permita establecer patrones, sino más aún cuando existen múltiples características naturales del terreno que se asemejan a una *mámoa*. Esta es una de las líneas de trabajo seguidas por el grupo de investigación del *Norsk Regnesentral* –Centro de Computación de Noruega–, que han conseguido detectar, por ejemplo, una agrupación de 19 túmulos inéditos, con un software desarrollado por ellos mismos, empleando datos Lidar (TRIER, PILØ 2012; TRIER *et al.* 2013; TRIER, PILØ 2014). Esto es indicativo de la potencialidad de tal tipo de proyectos. Convendría plantearse para Galicia, no muy a largo plazo, la posibilidad de desarrollar un software semejante con el que poder automatizar la prospección arqueológica y de esta forma llegar a obtener un mapeado arqueológico total y más real del territorio, y finalmente, una distribución cartográfica más completa de los monumentos tumulares y megalíticos gallegos.

BIBLIOGRAFÍA

- ACKERMANN, F. 1999. “Airborne laser scanning—present status and future expectations”. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, pp. 64-67.
- BENNETT, R. 2011. *Archaeological Remote Sensing: Visualization and analysis of grass-dominated environments using airborne laser scanning and digital spectra data*. Doctor of Philosophy, Bournemouth University, Bournemouth.
- BENNETT, R., WELHAM, K., HILL, R. A., FORD, A. 2012a. “A comparison of visualization techniques for models created from airborne laser scanned data”. *Archaeological Prospection*, 19 (1), pp. 41-48.
- BENNETT, R., WELHAM, K., HILL, R. A., FORD, A. 2012b. “Using lidar as part of a multi-sensor approach to archaeological survey and interpretation”. En R. OPITZ, COWLEY, D. (Ed.), *Interpreting archaeological topography - airborne laser scanning, aerial photographs and ground observation*. Oxford: Oxbow Books.
- BLANCO ROTEÁ, R.; FONTE, J.; GUIMIL FARIÑA, A.; MAÑANA BORRAZÁS, P. 2014. “Using airborne laser scanning and historical aerial photos to identify Modern Age fortifications in the Minho valley, Northwest Iberia”, *XVII World UISPP Congress*, Burgos, Spain. Poster presentation.
- CARRERO PAZOS, M., VILAS ESTÉVEZ, B. 2015. “The possibilities of the aerial LiDAR for the detection of Galician megalithic tumuli (NW Iberian Peninsula). The case of Santa Mariña (Lugo)”. *43rd Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology “KEEP THE REVOLUTION GOING” Conference (CAA 2015 SIENA)*. Poster presentation.

- COREN, F., VISINTINI, D., PREARO, G., STERZAI, P. 2005. "Integrating LiDAR intensity measures and hyperspectral data for extracting of cultural heritage". En CIRGEO (Ed.), *Proceedings of Italy-Canada Workshop on 3D Digital imaging and Modeling: Applications of Heritage, Industry, Medicine and Land. Padova, Italy (May 17-18 2005)*. Padova: Interdepartment Research Center of Cartography, Photogrammetry, Remote Sensing and GIS.
- CRUTCHLEY, S., CROW, P. 2009. *The Light Fantastic: Using Airborne Laser Scanning in Archaeological Survey*. Swindon: English Heritage.
- DONEUS, M., BRIESE, C., FERA, M., JANNER, M. 2008. "Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning". *Journal of Archaeological Science*, 35-4, pp. 882-893.
- DONEUS, M., DONEUS, N., BRIESE, C., PREGESBAUER, M., MANDLBURGER, G., VERHOEVEN, G. 2013. "Airborne laser bathymetry e detecting and recording submerged archaeological sites from the air". *Journal of Archaeological Science*, 40, pp. 2136-2151.
- FILGUEIRAS REY, A. I., RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, T. 1994. "Túmulos y petroglifos. La construcción de un paisaje funerario. Aproximación a sus implicaciones simbólicas". *Espacio, Tiempo y Forma*, 7, pp. 211-253.
- FONTE, J., GONÇALVES SECO, L. 2010a. "An integration of Airborne LiDAR and vertical aerial imagery to analyse two Iron Age hillforts in Northern Galicia (Spain)", *International Aerial Archaeology Conference (AARG, 2010)*, Bucarest, Rumania. Poster presentation.
- FONTE, J.; GONÇALVES-SECO, L. 2010b. "Integração de LiDAR Aéreo e de Fotografia Aérea Vertical na documentação e investigação de Património Cultural", *I Congresso Internacional Povoamento e Exploração de Recursos Mineiros na Europa Atlântica Ocidental*, Universidade do Minho, Braga, Poster presentation. Poster presentation.
- FONTE, J.; GONÇALVES-SECO, L. 2012. "LiDAR data evaluation for archaeological purposes in Northwest Iberia", *Computer Application & Quantitative Methods in Archaeology (CAA 2012)*, Março, University of Southampton, Southampton, UK. Poster presentation.
- FONTE, J.; PIRES, H.; GONÇALVES-SECO L.; MATÍAS RODRÍGUEZ, R.; L.; LIMA, A. 2014. "Archaeological research of ancient mining landscapes in Galicia (Spain) using Airborne Laser Scanning data, Simpósio Internacional", *Paisagens Mineiras Antigas na Europa Ocidental. Investigação e Valorização Cultural*, Boticas. Poster presentation.
- GDAL Development Team. 2014. *LiDAR Derived Digital Terrain Models. Remote Sensing*
- HESSE, R. 2010. "LiDAR - Derived Local Relief Models - a New Tool for Archaeological Prospection". *Archaeological Prospection* 17, pp. 67-72.
- HESSE, R. 2013. *Lidar Visualization Toolbox*. Visual Basic .NET (version 1.0.0.20), from <http://sourceforge.net/projects/livt/?source=navbar>.
- KOKALJ, Ž., ZAKŠEK, K., OŠTIR, K. 2011. "Application of Sky-View Factor for the Visualization of Historic Landscape Features in Lidar-Derived Relief Models". *Antiquity* 85, pp. 263-273.
- KOKALJ, Ž., ZAKŠEK, K., OŠTIR, K. 2013. "Visualizations of Lidar Derived Relief Models. En R. OPITZ, COWLEY, D. (Ed.), *Interpreting Archaeological Topography: Lasers, 3D Data, Observation, Visualization and Applications* (pp. 100-114). Oxford: Oxbow Books.
- LÓPEZ ROMERO, E., MAÑANA BORRAZÁS, P. 2013. *El círculo lítico de Monte Lobeira (Vilanova de Arousa, Pontevedra)*. *Trabajos de 2008 y 2010* (Vol. CAPA 34). Santiago de Compostela: Incipit, CSIC.
- MAÑANA BORRAZÁS, P., GIANOTTI GARCÍA, C., GONZÁLEZ INSUA, F., CARAMÉS MOREIRA, V. 2010. "Aplicación de tecnologías geoespaciales para la documentación del círculo lítico de Monte Lobeira, Vilanova de Arousa (Pontevedra)". *Cuadernos de estudios gallegos*, LVII (123), pp. 25-52.
- OPITZ, R., COWLEY, D. 2013. *Interpreting Archaeological Topography: Lasers, 3D Data, Observation, Visualization and Applications*. Oxford: Oxbow.
- PIRES, H., GONÇALVES-SECO, L., FONTE, J., PARCERO-OUBIÑA, C. AND FÁBREGA-ÁLVAREZ, P. 2013. "Lidar-derived morphological relief models for the detection of archaeological features using mesh decimation". *AARG Conference 2013, Amersfoort (The Netherlands)*. Poster presentation.

- PIRES, H., GONÇALVES-SECO, L., FONTE, J., PARCERO-OUBIÑA, C., FÁBREGA-ÁLVAREZ, P. 2014. "Morphological Residuals Model - a mesh decimation filtering tool for detection and contrast of archaeological evidences in point- cloud derived models". *Journal of Cultural Heritage* (en prensa).
- RILEY, M. A. 2009. *Automated detection of prehistoric conical burial mounds from lidar bare-earth digital elevation models*. Master of Science, Northwest Missouri State University, Maryville, Missouri.
- RODRÍGUEZ CASAL, A. A. 1998. "La necrópolis megalítica del Monte de Santa Mariña", *Gallaecia*, 17, pp. 121-135.
- RODRÍGUEZ CASAL, A. A., GÓMEZ NISTAL, C., ROMANÍ FARIÑA, E. 1998. "El fenómeno tumular y megalítico en las tierras de Sarria- O Incio (Lugo)". *Gallaecia*, 17, pp. 60-105.
- ROWLANDS, A., SARRIS, A. 2007. "Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi-sensor remote sensing". *Journal of archaeological Science*, 34, pp. 795-803.
- RUIZ, A., KORNUS, W. 2003. *Experiencias y aplicaciones del lidar*. Barcelona: Geomatic Week.
- SAN JOSÉ ALBACETE, A. 2011. *Procesamiento de datos Lidar con ArcGIS Desktop 10*. Madrid: Trabajo de Fin de Máster inédito. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- STULAR, B., KOKALJ, Z., OSTIR, K., NUNINGER, L. 2012. "Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features". *Journal of Archaeological Science*, 39, pp. 3354-3360.
- TRIER, Ø., PILØ, L. H. 2012. "Automatic detection of pit structures in airborne laser scanning data". *Archaeological Prospection*, 19 (2), pp. 103-121.
- TRIER, Ø., ZORTEA, M., TONNING, C., LOSKA, A. 2013. "Grave mounds discovered by automatic heap detection method". *4th EARSeL Workshop on Cultural and Natural Heritage, Matera, Italy, 6-7 June 2013*, pp. 305-329.
- TRIER, Ø., PILØ, L. H. 2014. "Archaeological mapping of large forested areas, using semi-automatic detection and visual interpretation of high-resolution Lidar data". *CAA-2014, Paris, 23-25 April 2014*.
- VAN ZIJVERDEN, W. K., LAAN, W. N. H. 2003. "Landscape reconstructions and predictive modeling in archaeological research, using a LIDAR based DEM and digital boring databases". *Workshop Archäologie und computer*, 9, CD-ROM.
- VIERLING, K. T., VIERLING, L. A., GOULD, W. A., MARTINUZZI, S., CLAWGES, R. M. 2008. "Lidar: shedding new light on habitat characterization and modeling". *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(2), pp. 90-98.
- YEBRA BIURRUN, M.J. 1990. *Geografía rural del municipio de Sarria*. Diputación Provincial de Lugo. Lugo.
- ZAKŠEK, K., OŠTIR, K., KOKALJ, Ž. 2011. "Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique". *Remote Sensing*, 3, pp. 398-415.
- ZAKŠEK, K., OŠTIR, K., PEHANI, P., KOKALJ, Ž., POLERT, E. 2012. "Hill Shading Based on Anisotropic Diffuse Illumination". *Symposium GIS Ostrava 2012*. Ostrava: Technical University of Ostrava, pp. 1-10.

ANEXO

UTMs ACTUALIZADAS DE LOS MONUMENTOS DE LA NECRÓPOLIS MEGALÍTICA
DEL MONTE DE SANTA MARIÑA (ETRS89, huso 29N)

Monumento	X	Y
M1	631928,42	4728203,78
M2	631986,42	4728207,78
M3	632206,42	4728345,78
M4	632523,42	4728261,78
M5	632622,43	4728595,79
M6	632695,43	4728578,78
M7	632747,43	4728758,79
M8	632823,43	4728727,79
M9	632867,43	4728764,79
M10	632881,43	4728746,79
M11	632935,43	4728764,79
M12	632916,43	4728820,79
M13	633021,43	4728925,79
M14	633001,43	4728901,79
M15	633035,43	4728945,79
M16	633146,43	4729013,79
M17	633044,43	4728831,79
M18	633066,43	4728842,79
M19	633082,43	4728852,79
M20	632752,43	4728652,79
M21	632828,43	4728669,79
M22	632838,43	4728623,78
M23	632958,43	4728630,78
M24	633133,43	4728646,78
M25	633138,43	4728688,78
M26	633059,43	4728626,78
M27	633180,43	4728708,78
M28	633322,43	4728698,78
M29	633521,43	4728797,78
M30	633950,44	4728710,78
M31	633927,44	4728674,78
M32	633751,44	4728627,78
M33	633092,43	4728691,78
M34	633052,43	4729004,79