

Evaluación y perspectivas del uso del LiDAR en la arqueología española

Assessment and perspectives of the use of LiDAR in Spanish archaeology

Enrique Cerrillo Cuenca (enriqcer@ucm.es)

Universidad Complutense de Madrid

Adara López López (adaralopezlopez@gmail.com)

Universidad de Alcalá

Resumen: Este trabajo pretende realizar una evaluación de los usos de la tecnología LiDAR en la arqueología española en su corto recorrido de apenas cinco años desde la liberación de datos por parte del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Presenta una recogida bibliográfica de la información por periodos, comunidades autónomas y tipos de sitios arqueológicos, con el objetivo de evaluar el grado de implantación del LiDAR en la disciplina arqueológica. Finalmente realiza algunas propuestas de trabajo futuras.

Palabras clave: Tecnologías de la información geográficas. Teledetección. Análisis del paisaje en arqueología. Recuentos. Regiones de España.

Abstract: This paper intends to evaluate the uses of LiDAR technology in Spanish archaeology during the short span of time after the free dissemination of data by the Spanish National Geographic Institute (IGN). We present a bibliographical collection of information by periods, regions and types of archaeological sites with the aim of evaluating the degree of implementation of LiDAR in Spanish archaeological practice. Finally, we analyse some future proposals.

Keywords: Geographical information systems. Remote sensing. Landscape analysis in archaeology. Bibliometry. Spanish regions.

Introducción

No ha pasado tanto tiempo desde que el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) liberara al público los datos LiDAR del conjunto de España en 2015 con licencia de datos abiertos. En un intervalo relativamente corto de casi cinco años contamos ya con una perspectiva de la integración de este tipo de metodologías en las publicaciones científicas de la arqueología española. Pese a la brevedad de este periodo de disponibilidad, es factible establecer algunas tendencias de uso que apuntan ciertas limitaciones que la aplicación de la técnica podría acabar mostrando a medio o corto plazo.

Un punto de interés a la hora de trazar una perspectiva de futuro en la aplicación del LiDAR es que estamos quizás aún lejos de alcanzar los límites de la aplicación de la técnica en arqueología. Como numerosos trabajos en un contexto internacional están apuntando, se continúa avanzando

en la investigación de nuevos procedimientos de análisis, pero también de propuestas que enlazan práctica y teoría. Así, la teledetección, en un número más que significativo de casos, ha sido tratada como un aspecto puramente funcional de la práctica arqueológica, cuando la realidad demuestra que la conexión entre planteamientos teóricos y recursos instrumentales no solo es posible, sino que además es la única vía operativa capaz de dar resultados (Cowley, 2016; Verhoeven, 2017). Por un lado, es previsible que en los próximos años se produzcan incrementos de resolución, calidad y disponibilidad de datos. Así, la publicación de la nube de puntos clasificada de la segunda cobertura LiDAR en España para algunas comunidades repercutirá en la capacidad de detección de entidades arqueológicas. Además, son de esperar mejoras en los procedimientos empleados en la detección de elementos arqueológicos, como muestran una serie de publicaciones recientes que inciden directamente en la presentación de nuevos algoritmos de realce de la información (p. ej., Kokalj, y Somrak, 2019). También es esperable una redefinición de los objetivos de la praxis arqueológica a partir del uso de esta herramienta. Son estas las razones por las que en este trabajo queremos abordar, de una forma algo tentativa, la repercusión que el desarrollo de esta tecnología tiene en el análisis arqueológico.

Facetas de la metodología de datos LiDAR

Durante los últimos años multitud de trabajos se han encargado de realizar una definición de los métodos y capacidades de la tecnología LiDAR (Bewley; Crutchley, y Shell, 2005), técnica que permite capturar con una precisión razonable la superficie del terreno. El procedimiento puede consultarse en la bibliografía más corriente (Devereux *et alii*, 2005). Los datos actuales del PNOA cuentan con una resolución de 0,5 puntos/m², es decir de un punto por superficie de 2 m², para la mayor parte del territorio de España, si bien los últimos datos disponibles para algunas comunidades autónomas se incrementan hasta 1 punto/m². La resolución habitual, la de 0,5 puntos/m², es insuficiente para una cierta variedad de tipos de restos arqueológicos, cuya visualización y correcta detección requeriría de un incremento sensible en la resolución de la información.

Si algo sobresale en la información derivada de los datos LiDAR es su naturaleza numérica y métrica. Esa posibilidad no solo permite las funciones más básicas de filtrado de la información, sino que además trata los datos del terreno mediante algoritmos o funciones que amplifiquen las capacidades de detección en el MDT. De esta forma es posible formar un MDT sin puntos equivalentes a edificaciones actuales o vegetación, es decir un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). El MDE tiene posibilidades analíticas evidentes, pues puede tratarse para realzar selectivamente distintos tipos de relieve y formar imágenes que, una vez interpretadas, ofrezcan información sobre la presencia de elementos arqueológicos en el terreno. En la producción bibliográfica específica española se dedica poco espacio a especificar en qué ha consistido el proceso de los datos. Factores como su filtrado e interpolación tienen una influencia más que contrastada en la detección de entidades arqueológicas (Doneus, y Kühtheiber, 2013; Opitz, 2013).

Podemos distinguir dos niveles de análisis de la información LiDAR: uno básico, destinado a la visualización de datos mediante imágenes derivadas, ya sea mediante sombreados analíticos o mediante algoritmos más específicos, y un segundo nivel en el que situaríamos la detección semi-automática, en la que hay un componente de discernimiento y clasificación de elementos topográficos para aislar aquellos que pueden corresponder a un determinado tipo de sitio arqueológico.

Respecto al primer nivel es notable la popularización de los sombreados analíticos (Štular *et alii*, 2012), que consisten en simular la iluminación del terreno desde distintos puntos con el objetivo de destacar pequeños relieves topográficos. En los últimos tiempos hemos asistido a la publicación de propuestas de algoritmos de realce de los MDT, con interesantes planteamientos críticos sobre su

aplicación y uso (Kokalj, y Hesse, 2017). La bibliografía, esencialmente europea y orientada al análisis arqueológico, es abundante (Hesse, 2010; Kokalj, y Hesse, 2017; Kokalj; Zakšek, y Oštir, 2011; Štular *et alii*, 2012; Zakšek; Oštir, y Kokalj, 2011). Muchos de estos algoritmos se basan en la comparación de posiciones topográficas (realmente celdas de un MDE) con una simplificación o regularización su entorno (fig. 1).

Generalmente, el uso algoritmos de realce no ofrece más dificultades que ir aplicando los distintos métodos hasta conseguir el que más información arqueológica ofrezca. Algunos los trabajos muestran cómo condicionantes de todo tipo influyen en la capacidad de cada uno de los algoritmos, por lo que la estrategia más común consiste en la aplicación masiva de tratamientos a los mismos datos. En cierto sentido, la responsabilidad recae en que la disponibilidad de software para la aplicación de «filtros» cuenta con sencillas aplicaciones diseñadas para el análisis arqueológico y de fácil manejo como LiVT (Hesse, 2016) y RVT (Zakšek; Oštir y Kokalj, 2011), que permiten a un usuario no experimentado producir imágenes realizadas fácilmente, pero también sin un conocimiento específico sobre el funcionamiento de los algoritmos empleados para formar las imágenes resultantes. Por otro lado, el diseño de «filtros» *ad hoc* es una funcionalidad que requiere conocimientos matemáticos y de programación que se alejan de la formación de muchos arqueólogos.

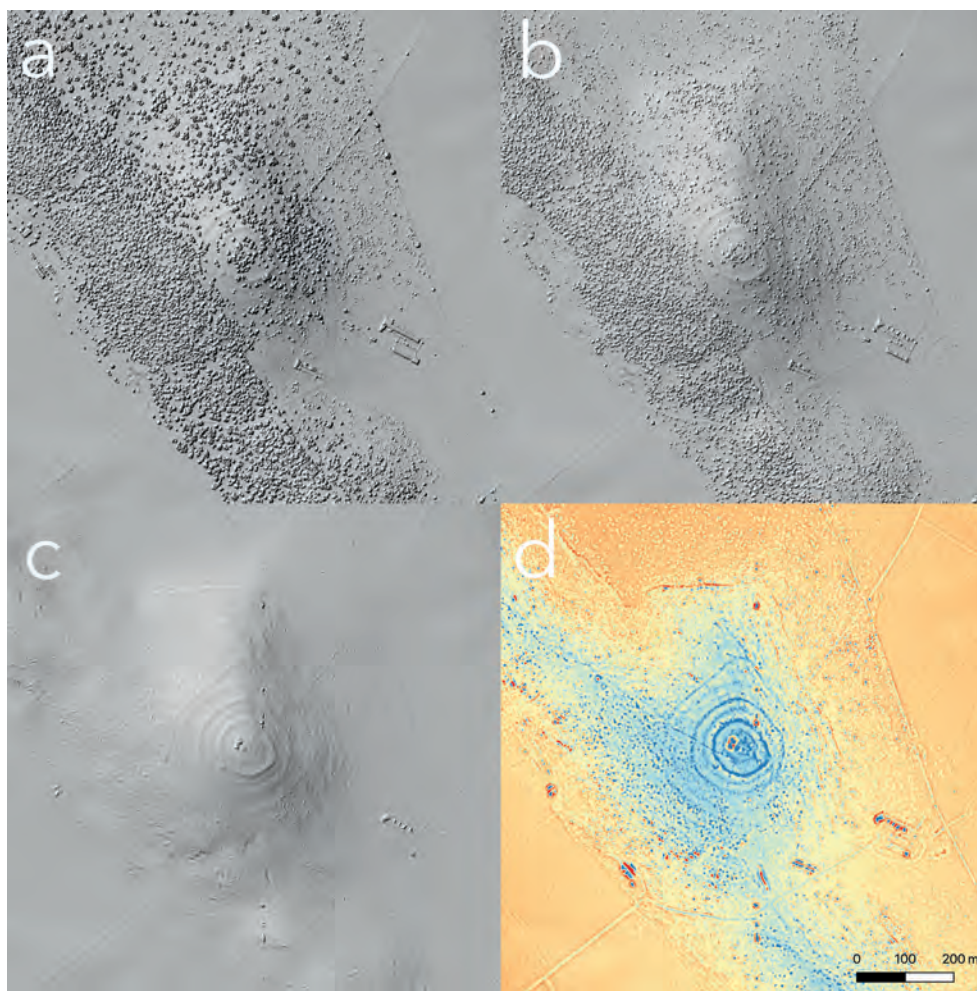


Fig. 1. Proceso de tratamiento de datos LiDAR en el sitio prehistórico de Colada de Monte Nuevo (Olivenza, Badajoz).

A) Sombreado sin filtrado de datos. **B)** Sombreado con filtrado de datos de vegetación alta. **C)** Sombreado realizado únicamente con puntos de terreno. **D)** Aplicación del algoritmo de la Laplaciana de la Gaussiana para destacar las murallas de la fortificación. El MDT fue generado a partir de la primera cobertura del LiDAR PNOA (0,5 puntos/m²) con resolución del MDT de 1 m. Todos los sombreados analíticos se han realizado con un azimut de 315° y una inclinación de 45°.

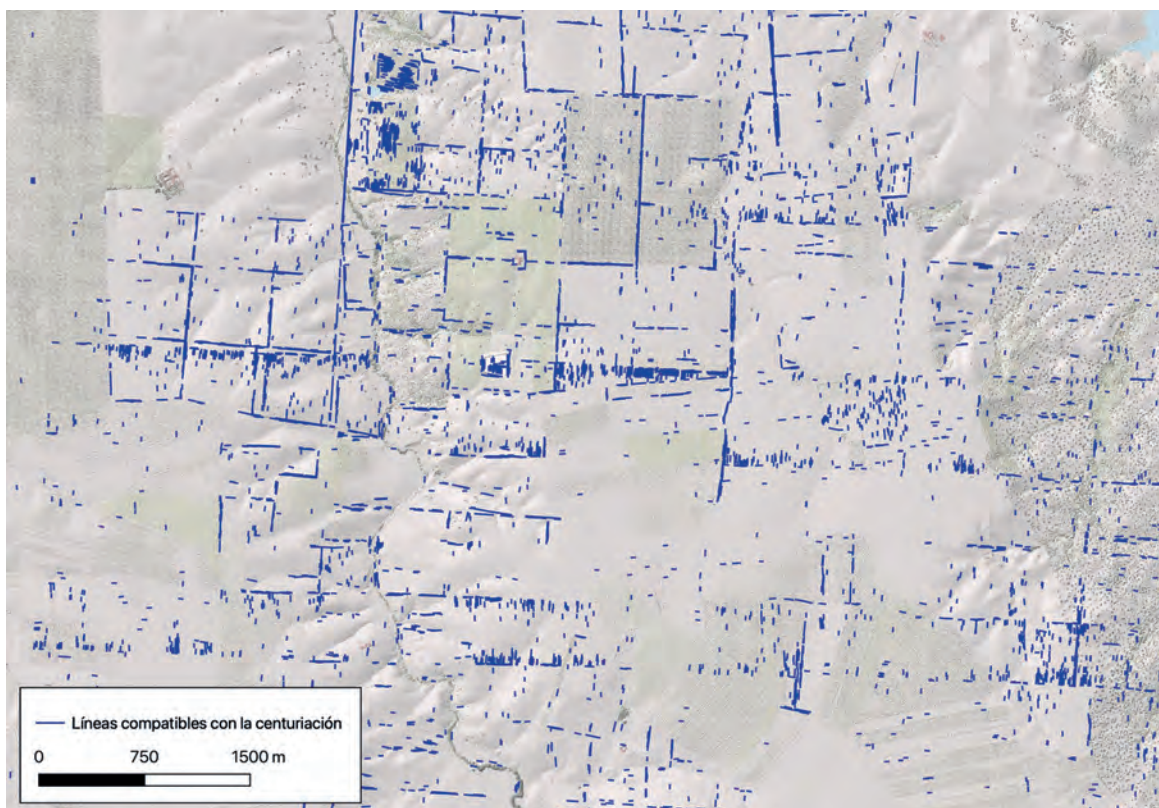


Fig. 2. Ejemplo de detección semiautomática aplicado a la centuriación romana del sur de Mérida (Badajoz). Las líneas representan elevaciones y depresiones del terreno que siguen una orientación similar y han sido detectadas automáticamente en los modelos. Nótese la relación entre las pautas que pueden advertirse y el ruido. El MDT fue generado a partir de la primera cobertura del LiDAR PNOA (0,5 puntos/m²) con resolución del MDT de 1 m. La imagen de base corresponde al WMS-LIDAR del PNOA.

En un segundo nivel se sitúan las técnicas automáticas de detección y clasificación, que pueden enmarcarse en distintas áreas de las tecnologías de la información. La naturaleza numérica de los MDE generados permite su análisis mediante diversas técnicas de computación, como la posibilidad de programar rutinas para detectar determinados tipos de sitios arqueológicos o «entrenar» al sistema para localizar determinados tipos de yacimientos con grados variables de confianza. Todo ello se ha incluido bajo lo que se denomina «detección semiautomática» (Cowley, 2012). La «evaluación final» de los resultados es necesaria, ya que cualquier solución devuelve un importante número de falsos positivos (Trier; Cowley, y Waldeland, 2019; Verschoof-van der Vaart, y Lambers, 2019).

En los últimos años distintos grupos han centrado sus esfuerzos en la detección semiautomática de entidades arqueológicas (fig. 2) a partir de datos LiDAR (Cerrillo-Cuenca, 2017; Davis, 2018; Guyot; Hubert-Moy, y Lorho, 2018; Trier; Zortea, y Tonning, 2015). Puede consultarse a Lambers y Traviglia (2016) o Davis (2018) para un estado del arte sobre esta cuestión. Hace ya unas décadas que se implantó en el análisis de la imagen la segmentación orientada a objetos u OBIA (*Object Based Image Analysis*). La posibilidad de «segmentar» el terreno en parcelas que se definen por ciertos criterios morfológicos permite clasificar esas unidades y marcarlas o descartarlas como áreas de potencial interés. Los ejemplos son diversos (Freeland *et alii*, 2016). De forma análoga, la técnica de *template matching* permite la búsqueda de patrones dentro de una imagen o de conjunto de ellas (Trier; Zortea, y Tonning, 2015).

Una técnica asimilable al *template matching* es la capacidad de reconocer formas concretas en las imágenes generadas a partir de datos LiDAR. Un recurso puede ser la utilización de procesos basados en la transformada de Hough (Duda, y Hart, 1972). Este conjunto de algoritmos permite la

identificación de formas geométricas a partir de una imagen para definir una determinada regularidad de la morfología antigua del territorio.

Con el objeto de descartar los falsos positivos de estos sistemas automáticos pueden plantearse varias soluciones. En el pasado hemos trabajado con modelos estocásticos, iteraciones que introducen pequeñas variaciones aleatorias en los criterios de segmentación de los modelos y que finalmente devuelven las localizaciones que más veces han sido detectadas. Otras posibles soluciones se basan en el empleo de sistemas de clasificación automática (Trier; Cowley, y Waldeland, 2019). En resumen, estas técnicas avanzadas nos conducen hacia el campo del *machine learning*, que en tanto planteamiento de análisis mecánico de los datos puede ser muy resolutivo, pero no siempre ofrece una hibridación razonable con los objetivos de la investigación y la capacidad de proceso de los datos.

Una instantánea del uso del LiDAR en la arqueología española

La aplicación arqueológica del LiDAR ha seguido, hasta la fecha, patrones de análisis desiguales en España. Es complejo realizar un análisis bibliométrico al uso dado lo reducido de la muestra, y únicamente hemos pretendido presentar un recuento a partir de la recopilación de trabajos en diferentes repositorios de artículos científicos, lo que no siempre resulta sencillo si tenemos en cuenta que la aplicación de la metodología puede ocultarse en el trasfondo general de una publicación. La cantidad de trabajos reflejados probablemente es baja en relación con los trabajos desarrollados en distintos ámbitos de la actividad arqueológica donde se ha contado con datos LiDAR.

Así, no tenemos datos del uso que hacen de los datos LiDAR las administraciones o las empresas privadas en estudios de gestión. Mucha de esta literatura seguramente tenga forma de informes que no cuentan con una merecida visibilidad. Por otra parte, es razonable pensar que existen trabajos académicos que tampoco son accesibles y ya puedan estar empleando recursos técnicos avanzados. Por este motivo, se han obviado en este análisis trabajos como tesis doctorales o trabajos de máster y grado. De poderse evaluar todos estos supuestos, el aspecto a resaltar sería posiblemente la rápida incorporación de la técnica a la práctica arqueológica, estimando que su uso no sea muy distinto del de la investigación reflejada en la bibliografía.

El listado de publicaciones científicas registradas puede encontrarse en el anexo 1. Hemos excluido las publicaciones que hacían un uso de modelos digitales derivados de LiDAR (p. ej. el MDT-05 que sirve el IGN), entendiéndolo que su uso no es exactamente el de la información LiDAR en sí. Así, desde 2011, cuando ya se contaba con datos para el País Vasco y el primer trabajo de Sánchez Rincón (2011), hasta la fecha de redacción de este artículo, se han publicado de forma aproximada 59 trabajos que hacen uso de datos LiDAR. Exceptuando artículos muy puntuales publicados entre 2011 y 2014 (véase el anexo 1), el impacto del LiDAR en la arqueología española se produce a partir de 2015 con la cesión de los datos abiertos por parte del IGN. Este aspecto quizás no se haya dejado notar aún en la imagen de la producción actual. Por ese motivo tal vez sea difícil percibir una tendencia al incremento en los últimos años y será necesario reevaluarlo en el futuro (tabla 1).

Aunque la suposición más inmediata es que el uso de datos LiDAR se emplea en la detección de nuevos sitios, la realidad es distinta. En algunos casos (Grau, 2017; Monterroso-Checa, 2019) los datos se han empleado para caracterizar topográficamente el terreno, ocurriendo probablemente otros muchos trabajos donde esta finalidad haya pasado desapercibida al no ser la primordial. En 36 casos los datos se han empleado para la caracterización de sitios arqueológicos ya conocidos. Se han aportado novedades en 27 sitios del total: 18 con nuevos asentamientos y en 9 con estructuras arqueológicas inéditas en sitios previamente conocidos. Tienen también una especial relevancia los

Año	Número de publicaciones registrado
2011	1
2012	
2013	4
2014	3
2015	10
2016	11
2017	14
2018	9
2019	7

Tabla 1. Número de publicaciones registradas en el intervalo 2011-2019. El número probablemente no sea definitivo y está basado en una recogida realizada por los autores de la forma más exhaustiva posible.

Prehistoria Reciente	12
Protohistoria	7
Romano	33
Tardoantigüedad	1
Medieval	5
Moderno	2
Contemporáneo	3
Indeterminado	1

Tabla 2. Distribución de los periodos analizados mediante datos LiDAR en las publicaciones realizadas en España en el intervalo 2011-2019. Una publicación puede recoger más de un periodo.

trabajos de síntesis (6) que conjugan la presentación de sitios inéditos con otros ya conocidos, y que conforman en sí una referencia al uso de la teledetección en sus respectivas regiones.

El análisis de la aplicación de los casos revela que la tendencia más habitual en los trabajos analizados es la recuperación de datos en sitios arqueológicos puntuales, con 31 trabajos que representan más de la mitad recopilados. En otros 16 casos el análisis incluía más de un sitio arqueológico, como en las síntesis temáticas realizadas, donde destacan los campamentos romanos (Hesse, y Costa-García, 2016). En 12 casos los trabajos abordaban una realidad de mayor alcance que la local, en ámbitos que han llegado a ser regionales o superiores (Cerrillo-Cuenca, y Bueno-Ramírez, 2019; Costa-García *et alii*, 2017; Fernández-Lozano *et alii*, 2019). En la práctica totalidad de ellos, la finalidad de los trabajos consistió en la localización de nuevas entidades arqueológicas, lo que de una forma u otra se logró en todos los casos (tabla 2).

En un análisis por periodos, destaca el estudio del territorio en época romana, donde son notables los casos orientados a la detección de campamentos militares (Costa-García *et alii*, 2017; Hesse, y Costa-García, 2016). En cierto sentido, la formación de un grupo de trabajo sobre esta cuestión específica ha supuesto un importante espaldarazo al análisis de este campo, al igual que ocurre con el análisis de la minería (Fernández-Lozano *et alii*, 2019). Estos grupos suponen la consolidación de experiencias y metodologías de trabajo que acaban por resolver con acierto el problema del reconocimiento de la evidencia mediante LiDAR.

La Prehistoria Reciente ocupa la segunda línea de especialización cronológica. El megalitismo (Carrero-Pazos *et alii*, 2014; Cerrillo-Cuenca, y Bueno-Ramírez, 2019) ha centrado gran parte de la atención de los investigadores, especialmente en el occidente de la península ibérica, donde la evidencia es más numerosa. Hay que recordar que toda esta tipología responde a una morfología de sitios convencionales y fácilmente reconocibles, lo que redundará en su capacidad de detección, frente a otros coetáneos y de similares funcionalidades con mayores dificultades de identificación. Esta especialización contrasta con la relativa falta de trabajos específicos sobre asentamientos, que es una de las facetas del análisis de la Prehistoria Reciente que podría verse beneficiada a corto plazo.

Por otra parte, periodos como la Edad del Bronce no cuentan aún con trabajos concretos, mientras que fases más recientes, a partir de la Edad Media, han recibido un menor interés cuando las posibilidades de análisis son variadas, por ejemplo, en el análisis de conflictos bélicos.

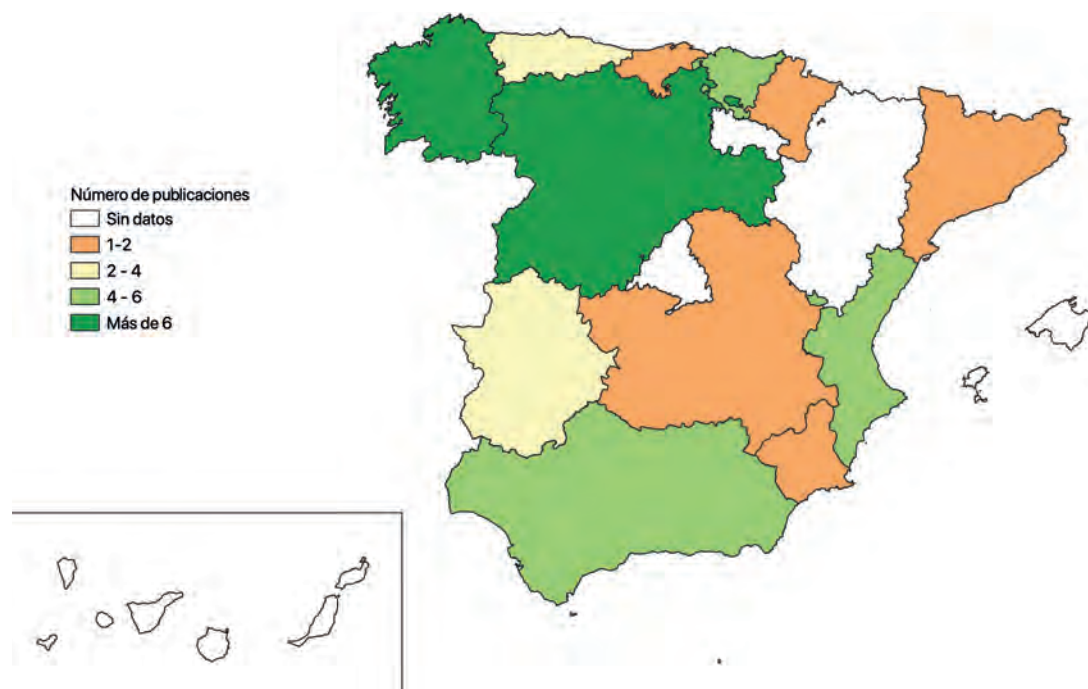


Fig. 3. Mapa que representa la distribución del número de publicaciones por autonomía que emplearon LiDAR en el periodo 2011-2019.

Por comunidades autónomas (fig. 3) sorprende que el mayor volumen de datos proceda del cuadrante noroccidental de la península ibérica, especialmente Galicia, donde el desarrollo de iniciativas ha sido constante desde 2013-2014. Los trabajos se han centrado principalmente en el estudio de megalitos (Carrero-Pazos *et alii*, 2014), castros, campamentos y minería romana (Armada *et alii*, 2015; Ferreiro *et alii*, 2017), reflejando en los dos primeros casos una particular especialización de la arqueología gallega. En el caso de los campamentos romanos el contexto es bien distinto. Se cuenta con una producción muy diversificada de distintas orientaciones que tratan de presentar de forma conjunta una realidad estudiada hasta ahora de forma muy regionalizada, para la que están obteniendo resultados sorprendentes. En este caso la aplicación de una metodología consensuada y clara (Costa-García; Fonte, y Gago 2019) permite una visión más «desregionalizada» y amplia de un proceso histórico.

El NE de Castilla y León puede entenderse en muchos sentidos como una prolongación de la actividad de algunos de estos grupos. En la Meseta, el uso del LiDAR ha permitido la interpretación de actividades extractivas de variscita (Fábregas, y Rodríguez, 2017), mientras que, concretamente en el enclave de Treviño, las investigaciones se han centrado en las explotaciones de sílex (Orúe, 2013; Tarrío *et alii*, 2014), también durante la Prehistoria Reciente. Además, es continuada la caracterización de campamentos romanos ya conocidos (Hesse, y Costa-García, 2016) y otros inéditos (Costa-García; Fonte, y Gago 2019) en esta comunidad autónoma. Igualmente han proliferado los estudios sobre minería romana (Fernández-Lozano *et alii*, 2019; Matías, y Llamas, 2018), y puntualmente del castro de Iruña en Salamanca (Berrocal-Rangel *et alii*, 2017), donde la aplicación del LiDAR ha permitido la detección de nuevos elementos arqueológicos asociados al sitio.

En Andalucía su uso ha facilitado la detección de un anfiteatro romano en el yacimiento de Torreparedones en Córdoba (Monterroso-Checa, 2017) como resultado de la aplicación específica de la metodología al estudio de la ciudad romana. La Universidad de Córdoba parece concentrar los esfuerzos en la aplicación de los datos LiDAR para la propia provincia, desarrollando incluso una reconstrucción del modelo geomorfológico de los terrenos donde se asienta la capital (Monterroso-

Checa, 2019), o facilitando la documentación de tramos viarios romanos en áreas de difícil estudio (Gasparini; Moreno-Escribano, y Monterroso-Checa, 2019).

En Extremadura se ha desarrollado una iniciativa basada en el proceso automático de multitud de ficheros LiDAR, lo que ha dado como resultado una identificación masiva de indicios arqueológicos. En el reconocimiento de este territorio se ha detectado un campamento romano inédito (Cordero; Cerrillo-Cuenca, y Pereira, 2017). La extensión de terreno procesado es proclive también a la identificación de obras de infraestructura romana, como las vías (Cerrillo Martín de Cáceres, Cerrillo Cuenca, y Prada, 2018). En esta región se ha desarrollado la detección semiautomática de megalitos (Cerrillo-Cuenca, 2017) que ha servido para completar junto al poblamiento la imagen del Neolítico y Calcolítico en la región (Cerrillo-Cuenca, y Bueno-Ramírez, 2019).

Para otras regiones sabemos de iniciativas muy concretas de aplicación del LiDAR, tanto para períodos ya comentados (Grau, y Segura, 2016; Picazo *et alii*, 2018) como para otros más recientes desde la Tardoantigüedad (Sarabia-Bautista, 2016), Edad Media (Porcheddu, 2018), Moderna (Blanco-Rotea *et alii*, 2016) e incluso Edad Contemporánea, en Aragón, Comunidad Valenciana, Castilla-La Mancha, Cataluña y Navarra. Se trata todavía de estudios aislados en la mayor parte de los casos, existiendo además otros proyectos que por ahora solo han sido publicitados (Gassiot, y Pèlachs, 2017; Ayán; Santamarina, y Herrero, 2017). Algunos territorios no cuentan con datos, sin que de momento podamos encontrar una lógica a la sobrerrepresentación de iniciativas de unas regiones frente a otras, que no puede explicarse únicamente a partir de preferencias en las temáticas de investigación.

En cuanto al análisis, el tipo de visualización de MDTs más utilizado es el sombreado analítico, por la representación más intuitiva del territorio y su facilidad de aplicación. Prácticamente la mitad de los estudios recurren a esta representación, mientras que la otra mitad incluyen una mayor experimentación en el uso de otros algoritmos para lograr una visualización más eficiente. Es difícil evaluar la diferencia entre la aplicación de uno y otro recurso, que puede deberse tanto a factores del terreno como a la entidad de las estructuras localizadas o los objetivos específicos de cada investigación.

Por otro lado, la interpretación de la información obtenida a partir de los datos LiDAR rápidamente ha adquirido un nivel de aceptación muy alto, debido a la expresividad de los resultados, pero en ocasiones se han descuidado los criterios de validación de los indicios. La validación en campo mediante prospecciones superficiales es necesaria, tanto para la comprobación de las estructuras detectadas como para la contextualización arqueológica de las anomalías. No obstante, algunos trabajos de escala regional, con volúmenes de datos importantes, no pueden asumir la validación completa de sus datos por cuestiones operativas y ello dificulta evaluar la representatividad de los resultados. En este caso sería recomendable evaluar la efectividad de las estrategias empleadas, teniendo en cuenta los sesgos existentes. El número de estudios para los cuales se ha optado por la aplicación de técnicas geofísicas o la excavación para su validación es inapreciable, con casos que forman parte de proyectos muy específicos. La técnica de validación más empleada es la foto-interpretación mediante fotogramas de series históricas de varios tipos, que de una forma explícita o no, emplean 46 de los 59 trabajos revisados.

Propuestas de trabajo, necesidades de futuro

A partir de la recogida de datos anteriores podemos afirmar que el uso de los datos LiDAR en arqueología se mueve prioritariamente en el primer nivel de análisis, el de la visualización de datos, sin que se haya comenzado a desarrollar apenas el análisis semiautomático como ocurre en varios otros países. La concentración de trabajos en regiones concretas da una buena idea de varios

polos activos con proyección de futuro, pero también de que el uso de la técnica es por ahora de una implantación bastante desigual y orientada a la detección de las entidades arqueológicas más convencionales.

En el caso de la arqueología española se nota aún cierta desconexión entre la praxis, el diseño específico de metodologías y protocolos de trabajo y la definición de ciertos recursos teóricos que contribuirían a dar un mayor refuerzo a la implantación de esta técnica y, sobre todo, a dotarla de transversalidad en su aplicación. Debemos insistir en que el horizonte de apenas cinco años desde la liberación de datos LiDAR es aún un plazo muy breve para realizar una evaluación definitiva de la implantación de la técnica, pero no obstante pueden realizarse algunos apuntes preliminares sobre necesidades de futuro.

La generalización del LiDAR como herramienta analítica territorial se produce en un momento de cambio en la producción de conocimiento sobre el análisis del paisaje en Europa, o al menos en un momento en el que ya se parte de una reflexión consciente de algunos de sus problemas previos y de ciertas corrientes (Fleming, 2006). Esta debilidad se traslada precisamente al estudio arqueológico del paisaje, donde ya se ha anunciado la necesidad específica de reconectar la información derivada de los datos LiDAR con procesos de producción de conocimiento (Mlekuž, 2018), no siempre realistas. Por otra parte, planteamientos de marcado acento positivista, más o menos consciente, postulan que la generación de nuevo conocimiento debe venir de las observaciones realizadas a partir de la materialidad del registro arqueológico. Asimilada esta postura, se corre el riesgo de potenciar una de las debilidades evidentes del reconocimiento arqueológico del territorio a partir del LiDAR, como es la obtención de volúmenes masivos de datos que no siempre pueden traducirse en conocimiento y mucho menos en documentos inequívocos de los que puedan inferirse lecturas de procesos sociales específicos. En definitiva, se denuncia la existencia de debilidades a la hora de utilizar los razonamientos de la tradición de análisis humanístico del territorio, que impiden producir razonamientos sintéticos y enunciar regularidades sobre las dinámicas sociales del paisaje, más allá de la simple observación del aspecto material de las entidades arqueológicas.

Esta última es en realidad una debilidad compartida con otros métodos de extracción de información arqueológica de naturaleza territorial. La generalización de la fotografía aérea como herramienta de análisis ha sido desigual en España, pero existen estudios que insisten en la necesidad de establecer marcos de trabajo y recursos orientados a la producción de conocimiento (Orejas, 1995). Exceptuando trabajos pioneros de fotointerpretación puede afirmarse que hasta la década de 2000 no hay una popularización real y consistente de esta herramienta en determinados grupos de trabajo, mostrando quizás una escasa integración con esta nueva técnica de análisis de datos LiDAR.

En definitiva, el uso del LiDAR, hasta límites razonables, presenta limitaciones análogas a las de la fotointerpretación de fotogramas aéreos, donde el procedimiento consiste en la visualización e identificación de pautas y formas conocidas, es decir, entran en juego procesos de percepción (Mlekuž, 2013: 129). La información que producen ambas técnicas es relevante para determinar la presencia o ausencia de estructuras, así como para profundizar en una lectura de la morfología del paisaje. Una ventaja añadida en el caso del LiDAR es la extracción de información métrica, que puede emplearse para categorizar el tamaño de los sitios arqueológicos, asumiendo las dificultades de carácter interpretativo que se plantean únicamente a partir de la valoración de esta información.

Es cierto que en la revisión de la literatura sobre el uso de datos LiDAR en la arqueología española encontramos una cierta carencia de análisis sobre la eficacia de la herramienta en la producción de conocimiento histórico, exceptuando algunos trabajos muy concretos. Quizás este sea uno de los puntos en los que sea necesaria una mayor reflexión. La existencia de los sesgos

en teledetección, como en cualquier otro proceso de análisis arqueológico, ha sido advertida por muchos autores europeos (Cowley, 2016; Verhoeven, 2017). Tampoco faltan casos de estudio en América Central (Fernández-Díaz *et alii*, 2014; Magnoni *et alii*, 2016), donde se establece en términos numéricos la fiabilidad de la técnica, poniendo de relieve que sigue existiendo una buena parte del registro que no es detectable mediante datos LiDAR, circunstancia que recientemente se ha puesto de relieve para la Prehistoria Reciente del suroeste peninsular (Cerrillo-Cuenca, y Bueno-Ramírez, 2019).

La propuesta de terminologías y protocolos de actuación específicos puede ser útil para armonizar una previsible avalancha de datos derivados de la práctica de la actividad arqueológica. Una recomendación, de extrema simpleza, puede ser tratar a todo elemento no validado en campo como «anomalía», término aséptico que define que una determinada forma reconocible en imágenes es únicamente verosímil como «elemento» de origen arqueológico. El siguiente paso puede ser establecer una escala de «verosimilitud» de esas anomalías en función de las técnicas empleadas y las capacidades del «analista», hasta que su comprobación, mediante más de una técnica, pueda aproximarnos de forma más detallada a su naturaleza. Dentro de un código de buenas prácticas, parece necesario comprometerse a la publicación de los detalles sobre el origen de los datos, y los parámetros de procesos de tratamiento y representación. Esta información es esencial para comprender mejor los productos visuales creados, sus posibilidades y limitaciones, de forma que manifiesten el control que se tiene sobre ellos para facilitar su interpretación y comparación con otros estudios. Por otra parte, la integración de datos de investigación y gestión patrimonial parece necesario establecerla a partir de protocolos de intercambio de la información como los sugeridos, que acelerarían la elaboración, comprobación y gestión de datos de cartas arqueológicas con sus consiguientes beneficios.

El término «incremento» puede ser el que defina esta nueva relación establecida entre LiDAR y arqueología. En los próximos años se verá previsiblemente amplificado el número de sitios arqueológicos detectados identificados mediante LiDAR. Esto no equivale necesariamente a la mejora sustancial de la interpretación arqueológica, sino a una acumulación de datos que en el mejor de los casos será objetivable mediante la combinación de distintas técnicas de caracterización, y en todo caso a través de la praxis arqueológica. Esta acumulación de datos, sea arbitraria o no, estructurada y precisa, e incluyendo anomalías sin comprobar, no debe percibirse necesariamente como un elemento negativo, sino como un incentivo para la práctica de la gestión arqueológica y en el diseño de actuaciones territoriales en un sentido amplio, cuestión que no podemos aún valorar con el escaso conocimiento del uso de datos LiDAR en este dominio específico de la arqueología. En el caso de la investigación el incremento es una oportunidad para conectar preguntas tradicionales con nuevas capacidades analíticas, como sin duda han empezado a manifestar muchos de los trabajos comentados. Desarrollar aspectos, que a veces son relegados por la interpretación arqueológica actual como la evaluación del grado de intensidad de ocupación del territorio o sus modalidades, puede abordarse parcialmente ahora con este recurso metodológico, pero también con las debidas precauciones que impone la adopción de cualquier técnica.

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer los consejos de los evaluadores anónimos que revisaron el texto mejorándolo y aportando algunas carencias a la recopilación realizada. Parte de este trabajo se desarrolló durante el contrato de uno de nosotros (ECC) en el Dpto. de Arqueología y Procesos Sociales, Instituto de Historia del CSIC, gracias al proyecto intramural «Teledetección semi-automática en la Prehistoria Reciente del interior de la Península Ibérica (Cuenca del Tajo)».

Anexo 1

Autores	Año	Alcance	Comunidad Autónoma	Periodo	Tipo de sitios	Finalidad	Filtros	Criterios de detección	Criterios de validación	Detección de nuevas entidades	Comprobación	Validación con fotografía aérea	Validación con técnicas geofísicas	Validación mediante excavación
Álvarez y Suárez	2016	Puntual	Asturias	Moderno	Fortificaciones	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	No	No	No
Armada et alii	2015	Puntual	Galicia	Edad del Hierro / Romano	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Berrocal-Rangel et alii	2017	Puntual	Castilla-León	Edad del Hierro / Romano	Castro / Campamento	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí (estructuras nuevas)	Sí	No	No	No
Blanco-Rótea et alii	2016	Puntual	Galicia	Moderno	Fortificaciones	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Bratóns y Ramallo	2018	Puntual	Murcia	Romano	Minería / actividades extractivas	Presentación de nuevos sitios	No	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí
Carrero Pazos	2016	Puntual	Galicia	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí	Previamente comprobado	No	No	No
Carrero Pazos y Rodríguez	2015	Puntual	Galicia	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Carrero Pazos y Vilas	2016	Puntual	Galicia	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí	Previamente comprobado	No	No	No
Carrero Pazos et alii	2014	Puntual	Galicia	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	No
Cerrillo-Cuenca	2017	Regional	Extremadura	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo	Detección automática	Sí	Sí	No	Sí	Parcial	Sí	No	No
Cerrillo Cuenca y Bueno	2019	Regional	Extremadura	Prehistoria Reciente	Túmulos / Fortificaciones	Presentación de nuevos sitios	No	No	No	Sí	Parcial	Sí	No	No
Cerrillo-Martín de Cáceres et alii	2018	Regional	Extremadura	Romano	Vías	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí (estructuras nuevas)	Parcial	Sí	No	No
Cordero et alii	2017	Puntual	Extremadura	Romano	Campamento	Presentación de nuevos sitios	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Costa-García	2015	Regional	Cantabria / Castilla-León / País Vasco	Romano	Campamento	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Costa-García	2016	Puntual	Castilla-León	Romano	Campamento	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí (estructuras nuevas)	Previamente comprobado	Sí	No	No
Costa-García	2017	Regional	Galicia / Asturias / Castilla-León	Romano	Campamento	Síntesis (embos)	Sí	No	No	Sí (estructuras nuevas)	No consta	Sí	No	No
Costa-García y Casal	2015	Puntual (varios sitios)	Castilla-León	Romano	Campamento	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Costa-García y Fonte	2017	Regional	Galicia / Asturias / Castilla-León	Romano	Campamento	Síntesis (embos)	Sí	Sí	No	Sí	No consta	Sí	No	No
Costa-García et alii	2019	Puntual (varios sitios)	Varios	Romano	Campamento	Presentación de nuevos sitios	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Costa-García et alii	2016	Puntual (varios sitios)	Varios	Romano	Campamento	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Costa-García et alii	2018	Regional	Galicia / Asturias / Castilla-León	Romano	Campamento	Presentación de nuevos sitios	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Díaz et alii	2018	Puntual	Galicia	Edad del Hierro	Castro	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Fábregas y Rodríguez	2017	Puntual	Castilla-León	Prehistoria Reciente	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	No	No	No
Fábregas et alii	2013	Puntual	Galicia	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo / Aire rupestre	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	No	No	No

Anexo 1

Autores	Año	Alcance	Comunidad Autónoma	Periodo	Tipo de sitios	Finalidad	Filtros	Criterios de detección	Criterios de validación	Detección de nuevas entidades	Comprobación	Validación con fotografía aérea	Validación con técnicas geofísicas	Validación mediante excavación
Fábregas y Rodríguez	2017	Puntual	Castilla-León	Prehistoria Reciente	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	No	No	No
Fábregas et alii	2013	Puntual	Galicia	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo / Arte rupestre	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	No	No	No
Fernández Abella	2017	Puntual (varios sitios)	Galicia	Medieval	Fortificaciones	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	No	No	No
Fernández-Lozano et alii	2018	Puntual (varios sitios)	Castilla-León	Romano	Minería / Actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	Sí (estructuras nuevas)	Previamente comprobado	Sí	No	No
Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso	2017	Puntual	Castilla-León	Romano	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Fernández-Lozano et alii	2015	Regional	Castilla-León	Romano	Minería / Actividades extractivas	Presentación de nuevos sitios	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Fernández Lozano et alii	2019	Puntual (varios sitios)	Castilla-León	Romano	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Ferreiro et alii	2017	Puntual (varios sitios)	Galicia	Romano	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Fonte et alii	2014	Puntual (varios sitios)	Galicia	Romano	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Gago y Fernández	2015	Puntual	Galicia	Romano	Campamento	Comprobación de sitios ya conocido	No	No	No	Sí (estructuras nuevas)	Sí	Sí	No	No
Gasparini et alii	2019	Puntual	Andalucía	Romano	Vías	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No
Grau	2016	Regional	Valencia	Indeterminado		Caracterización del terreno	No	No	No	No	No consta	No	No	No
Grau	2017	Puntual	Valencia	Edad del Hierro / Romano	Hábitat	Caracterización del terreno	No	No	No	No	No consta	No	No	No
Grau y Segura	2016	Puntual	Valencia	Edad del Hierro	Fortificaciones	Comprobación de No sitios ya conocidos	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Hesse y Costa	2016	Puntual (varios sitios)	Varios	Romano	Campamento	Síntesis (ambos)	Sí	No	No	Sí (estructuras nuevas)	No consta	Sí	No	No
Laurent et alii	2019	Puntual	Andalucía	Edad del Hierro / Romano	Hábitat / necropolis	Caracterización del terreno	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Mañana y Güñmil	2013	Puntual	Galicia	Prehistoria Reciente	Túmulos / Megalitismo	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	No	No	Sí
Martín Etxebarria	2017	Puntual (varios sitios)	País Vasco	Contemporáneo	Fortificaciones	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No
Matías y Llamas	2018	Puntual	Castilla-León	Romano	Minería / Actividades extractivas	Síntesis (ambos)	No	No	No	Sí (estructuras nuevas)	Sí	Sí	No	No
Matías y Llamas	2019	Puntual	Castilla-León	Romano	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No
Menéndez et alii	2015	Puntual	Castilla-León	Romano	Campamento	Presentación de nuevos sitios	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Menéndez et alii	2017	Puntual (varios sitios)	Galicia / Asturias	Romano	Campamento	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Monterroso-Checa	2017	Puntual	Andalucía	Romano	Ciudades	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No

Anexo 1

Autores	Año	Alcance	Comunidad Autónoma	Periodo	Tipo de sitios	Finalidad	Filtros	Criterios de detección	Criterios de validación	Detección de nuevas entidades	Comprobación	Validación con fotografía aérea	Validación con técnicas geofísicas	Validación mediante excavación
Monterroso-Checa	2019	Puntual	Andalucía	Romano/ Medieval	Terrazas	Caracterización del terreno	No	No	No	No	No consta	No	No	No
Moret et alii	2017	Puntual	Andalucía	Edad del Hierro / Romano	Habitat / necropolis	Caracterización del terreno	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	Sí
Orengo et alii	2013	Regional	Valencia	Romano	Vías / catastrós	Caracterización del terreno	No	No	No	No es explícito	No consta	Sí	No	No
Ortega et alii	2015	Regional	Valencia	Romano	Vías / catastrós	Síntesis (ambos)	No	No	No	No es explícito	No consta	Sí	No	No
Ordi	2013	Puntual	Castilla-León/ País Vasco	Prehistoria Reciente	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No
Pizcazo et alii	2018	Puntual	Aragón	Prehistoria Reciente / Contemporáneo	Minería / actividades extractivas	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	Sí (estructuras nuevas)	Previamente comprobado	Sí	No	No
Porcheddu	2018	Puntual (varios sitios)	Cataluña	Medieval	Fortificaciones / divisiones agrarias / vías	Comprobación de sitios ya conocidos	Sí	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Roldán	2016	Puntual	Navarra	Contemporáneo	Fortificaciones	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No
Sánchez Rincón	2011	Puntual	País Vasco	Medieval	Terrazas	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	Sí
Sánchez Pardo y Galbán	2015	Puntual (varios sitios)	Galicia	Medieval	Fortificaciones	Comprobación de sitios ya conocidos	No	No	No	No	Previamente comprobado	Sí	No	No
Sarabia-Bautista	2016	Puntual (varios sitios)	Castilla-La Mancha	Tardorromano / Medieval	Divisiones agrarias	Síntesis (ambos)	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Tarriño et alii	2014	Puntual	Castilla-León/ País Vasco	Prehistoria Reciente	Minería / actividades extractivas	Presentación de nuevos sitios	No	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí
Vidal Encinas	2015	Regional	Castilla-León	Edad del Hierro / Romano	Castros / Campamento	Presentación de nuevos sitios	No	No	No	Sí	Parcial	Sí	No	No
Vidal Encinas et alii	2018	Puntual (varios sitios)	Castilla-León	Romano	Campamento	Presentación de nuevos sitios	No	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No

Bibliografía

- ÁLVAREZ MARTÍNEZ, V., y SUÁREZ MANJÓN, P. (2016): «Estudio arqueológico de una fortificación costera olvidada: El Castillo o Fortín de Ortiguera (Coaña, Asturias)», *Nailos: Estudios Interdisciplinarios de Arqueología*, n.º 3, pp. 125-161.
- ARMADA PITA, X. L.; ALONSO TRONCOSO, V.; CARRASCO GARCÍA, P.; COSTA CASAIS, M.; GÜMIL-FARIÑA, A.; MAÑANA BORRAZÁS, P., y OTERO VILARIÑO, C. (2015): «El yacimiento de Santa Comba (Covas, Ferrol). Investigaciones arqueológicas en un enclave de la ruta marítima atlántica», *Gallaecia: Revista de Arqueoloxía e Antigüidade*, n.º 34, pp. 83-124.
- AYÁN VILA, X. M.; SANTAMARINA OTAOLA, J., y HERRERO ACOSTA, X. (2017): «Arqueología, patrimonio y comunidad: el proyecto “Monte de San Pedro” 1936-1937 (Araba, Euskadi)», *Trabajos de Arqueología Navarra*, n.º 29, pp. 125-148.
- BERROCAL-RANGEL, L.; PANIEGO DÍAZ, P.; RUANO, L., y MANGLANO VALCÁRCEL, G. R. (2017): «Aplicaciones LiDAR a la topografía arqueológica: El Castro de Iruña (Fuenteguinaldo, Salamanca)», *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, n.º 43, pp. 195-215.
- BEWLEY, R. H.; CRUTCHLEY, S. P., y SHELL, C. A. (2005a): «New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site», *Antiquity*, n.º 79 (305), pp. 636-647.
- BLANCO-ROTEA, R.; FONTE, J.; GÜMIL-FARIÑA, A., y MAÑANA-BORRAZÁS, P. (2016): «Using airborne laser scanning and historical aerial photos to identify modern age fortifications in the Minho Valley, Northwest Iberian Peninsula», *The three dimensions of archaeology: proceedings of the XVII UISPP World Congress (1-7 September 2014, Burgos, Spain). Volume 7, Session A4b and A12*. Edición de H. Kamermans, W. de Neef, C. Piccoli, A. G. Posluschny y R. Scopigno. Oxford: Archaeopress, pp. 111-120.
- BROTÓNS, F., y RAMALLO, S. (2018): «Canteras antiguas en la cuenca de Caravaca (Caravaca de la Cruz, Región de Murcia, España)», *Lapidum natura restat. Canteras antiguas de la península ibérica en su contexto (cronología, técnicas y organización de la explotación)*. Edición de Anna Gutiérrez García-Moreno y Pierre Rouillard. Tarragona-Madrid: Institut Català d'Arqueologia Clàssica y Casa de Velázquez, pp. 81-94.
- CARRERO PAZOS, M. (2016): «Definiendo nuevas herramientas para la detección de túmulos megalíticos en Galicia. El uso de la tecnología LiDAR», *Estudios de Arqueoloxía, Prehistoria e Historia Antiga. Achega dos novos investigadores*. Edición de Rebeca Cordeiro Macenlle y Alia Vázquez Martínez. Santiago de Compostela: Andavira Editora, pp. 19-30.
- CARRERO PAZOS, M., y RODRÍGUEZ CASAL, A. A. (2015): «Definiendo patrones de emplazamiento del Megalitismo gallego: la necrópolis del Monte de Santa Mariña como modelo», *Sémata, Ciências Sociais e Humanidades*, n.º 27, pp. 299-321.
- CARRERO PAZOS, M., y VILAS ESTÉVEZ, B. (2016): «The possibilities of the aerial LiDAR for the detection of Galician megalithic mounds (NW of the Iberian Peninsula). The case of Monte de Santa Mariña, Lugo», *Keep the Revolution Going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Edición de S. Campana, R. Scopigno, G. Carpentiero y M. Cirillo. Oxford: Archaeopress, pp. 901-908.
- CARRERO-PAZOS, M.; VILAS ESTÉVEZ, B.; ROMANÍ FARIÑA, E., y RODRÍGUEZ CASAL, A. (2014): «La necrópolis del Monte de Santa Mariña revisitada: aportaciones del LIDAR aéreo para la cartografía megalítica de Galicia», *Gallaecia: Revista de Arqueoloxía e Antigüidade*, n.º 33, pp. 39-57.
- CERRILLO-CUENCA, E. (2017): «An approach to the automatic surveying of prehistoric barrows through LiDAR», *Quaternary International*, n.º 435, pp. 135-145.
- CERRILLO-CUENCA, E., y BUENO-RAMÍREZ, P. (2019): «Counting with the invisible record? The role of LiDAR in the interpretation of megalithic landscapes in south-western Iberia (Extremadura, Alentejo and Beira Baixa)», *Archaeological Prospection*, n.º 26, pp. 251-264.
- CERRILLO MARTÍN DE CÁCERES, E.; CERRILLO CUENCA, E., y PRADA GALLARDO, A. (2018): «Nuevas aportaciones al paisaje de la Vía de la Plata a partir de tecnologías digitales de análisis del paisaje (LiDAR)», *Lusitania Romana. Del pasado al presente de la investigación. Actas de la IX Mesa redonda de Lusitania romana*. Edición de T. Nogales Basarrate. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, pp. 313-340.
- CORDERO RUIZ, T.; CERRILLO CUENCA, E., y PEREIRA, C. (2017): «Detección de un nuevo campamento romano en las inmediaciones de Mérida mediante tecnología LiDAR», *SAGVNTVM. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, n.º 49, pp. 197-201.

- COSTA-GARCÍA, J. M. (2015): «Asentamientos militares romanos en el norte peninsular: aportes de la fotografía aérea histórica, la fotografía digital y el LiDAR aéreo», *Férvedes*, n.º 8, pp. 35-44.
- (2016): «Presencia militar romana en La Chana (Castroalbón, León)», *Nailos: Estudios Interdisciplinarios de Arqueología*, n.º 3, pp. 47-85.
- (2017): «The potential of the Geographic Information Techniques for the analysis of the morphology and settlement patterns of the Roman military sites of early imperial era in Iberia», *Archaeology and Geomatics. Harvesting the benefits of 10 years of training in the Iberian Peninsula (2006-2015)*. Edición de V. Mayoral-Herrera, C. Parceró-Oubiña y P. Fábrega-Álvarez. Leiden: Sidestone Press, pp. 209-226.
- COSTA-GARCÍA, J. M., y CASAL GARCÍA, R. (2015): «Fotografía aérea histórica, satelital moderna y LIDAR aéreo en algunos recintos militares romanos de Castilla y León», *Portugalia*, n.º 36, pp. 143-158.
- COSTA-GARCÍA, J. M., y FONTE, J. (2017): «Scope and limitations of airborne LiDAR technology for the detection and analysis of Roman military sites in Northwest Iberia», *Archaeology and Geomatics. Harvesting the benefits of 10 years of training in the Iberian Peninsula (2006-2015)*. Edición de V. Mayoral-Herrera, C. Parceró-Oubiña y P. Fábrega-Álvarez. Leiden: Sidestone Press, pp. 57-73.
- COSTA-GARCÍA, J. M.; FONTE, J., y GAGO, M. (2019): «The reassessment of the roman military presence in Galicia and Northern Portugal through digital tools: archaeological diversity and historical problems», *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, n.º 19, pp. 17-49.
- COSTA-GARCÍA, J. M.; FONTE, J.; GAGO, M.; MENÉNDEZ BLANCO, A., y ÁLVAREZ MARTÍNEZ, V. (2016): «Hallazgos arqueológicos recientes para el estudio de la presencia militar romana en el oriente gallego», *Gallaecia: Revista de Arqueoloxía e Antigüidade*, n.º 35, pp. 39-70.
- COSTA-GARCÍA, J. M.; MENÉNDEZ BLANCO, A.; GONZÁLEZ ÁLVAREZ, D.; GAGO MARIÑO, M.; FONTE, J.; BLANCO-ROTEA, R., y ÁLVAREZ MARTÍNEZ, V. (2018): «The presence of the Roman army in North-Western Hispania: new archaeological data from Ancient Asturias and Galicia», *Limes XXIII. Proceedings of the 23rd International Limes Congress in Ingolstadt 2015*, vol. 2. Edición de C. S. Sommer y S. Matešić. Mainz: Nünnerich-Asmus, pp. 903-910.
- COWLEY, D. (2012): «In with the new, out with the old? Auto-extraction for remote sensing archaeology», *Proceedings Volume 8532, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2012*. C. R. Bostater, S. P. Mertikas, X. Neyt, C. Nichol, D. Cowley, y J. P. Bruyant. Edinburgh: International Society for Optics and Photonics, vol. 8532.
- (2016): «What Do the Patterns Mean? Archaeological Distributions and Bias in Survey Data», *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology. Quantitative Methods in the Humanities and Social Sciences*. Edición de M. Forte y S. Campana. Cham: Springer, pp. 147-170.
- DAVIS, D. S. (2018): «Object-based image analysis: a review of developments and future directions of automated feature detection in landscape archaeology», *Archaeological Prospection*, n.º 26 (2), pp. 155-163.
- DEVEREUX, B. J.; AMABLE, G. S.; CROW, P., y CLIFF, A. D. (2005): «The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies», *Antiquity*, n.º 79 (305), pp. 648-660.
- DÍAZ RODRÍGUEZ, M.; RODRÍGUEZ NÓVOA, A. A., y AMADO RODRÍGUEZ, E. (2016): «El uso del LiDAR como herramienta de prospección de asentamientos de la Edad del Hierro en el noroeste peninsular. El caso de A Estrada», *Entre ciência e cultura: da interdisciplinaridade à transversalidade da arqueologia, Actas das VIII Jornadas de Jovens em Investigação Arqueológica*. Edición de Inês Pinto Coelho, Joana Bento Torres, Luís Serrão Gil y Tiago Ramos. Lisboa: CHAM, IEM, pp. 319-327.
- DONEUS, M., y KÜHTEIBER, T. (2013): «Airborne laser scanning and archaeological interpretation – bringing back the people», *Interpreting Archaeological Topography*. Edición de R. Opitz y D. Cowley. Oxford: Oxbow Books, pp. 32-50.
- DUDA, R., y HART, P. (1972): «Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures», *Communications of the ACM*, n.º 15 (1), pp. 11-15.
- FÁBREGAS VALCARCE, R., y RODRÍGUEZ RELLÁN, C. (2017): «Rasgos básicos de la extracción de variscita en Palazuelo de las Cuevas (Zamora)», *Zephyrus*, n.º 79, pp. 63-79.
- FÁBREGAS VALCARCE, R.; RODRÍGUEZ RELLÁN, C.; GUITIÁN CASTROMIL, J., y GUITIÁN RIVERA, X. (2013): «Entre dos mundos: los grabados al aire libre de Pena Bicuda de Loureiro (Teo, Galicia, España)», *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I. Prehistoria y Arqueología*, n.º 6, pp. 173-195.
- FERNÁNDEZ ABELLA, D. (2018): «Castros o castillos: problemas metodológicos y de identificación de fortificaciones medievales en Galicia», *Genius Loci. Lugares e significados. Places and meanings*, vol. 2. Edición de L. Rosas, A. C. Sousa y H. Barreira. Porto: CICITEM, pp. 51-65.

FERNÁNDEZ-DÍAZ, J., W.; CARTER, R.; SHRESTHA, C., y GLENNIE, J. C. (2014): «Now You See It... Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica», *Remote Sensing*, 6(10), pp. 9951-10001.

FERNÁNDEZ-LOZANO, J.; GONZÁLEZ-DÍEZ, A.; GUTIÉRREZ-ALONSO, G.; CARRASCO, R.; PEDRAZA, J.; GARCÍA-TALEGÓN, J.; REMONDO, J.; BONACHEA, J., y MORELLÓN, M. (2018): «New perspectives for UAV-based modelling the Roman gold mining infrastructure in NW Spain», *Minerals*, n.º 8 (11), pp. 518.

FERNÁNDEZ-LOZANO, J., y GUTIÉRREZ-ALONSO, G. (2017): «Uso de LiDAR y aeronaves no tripuladas para la cartografía y registro de zonas de interés geomínero: un ejemplo de la minería aurífera romana en el Valle del Eria (León, España)», *Investigaciones arqueológicas en el valle del Duero: del Paleolítico a la Edad Media: actas de las V Jornadas de Jóvenes Investigadores del valle del Duero. Del Paleolítico a la Edad Media, desarrolladas en Valladolid entre los días 12 y 14 de noviembre de 2015*. Edición de A. Álvarez Rodríguez, C. Tejedor-Rodríguez e I. García Vázquez. Valladolid: Glyphos Publicaciones, pp. 420-536.

FERNÁNDEZ-LOZANO, J.; GUTIÉRREZ-ALONSO, G., y FERNÁNDEZ-MORÁN, M. A. (2015): «Using airborne lidar sensing technology and aerial orthoimages to unravel roman water supply systems and gold works in NW Spain (Eria valley, León)», *Journal of Archaeological Science*, n.º 53, pp. 356-373.

FERNÁNDEZ-LOZANO, J.; PALAO-VICENTE, J. J.; BLANCO-SÁNCHEZ, J. A.; GUTIÉRREZ-ALONSO, G.; REMONDO, J.; BONACHEA, J.; MORELLÓN, M., y GONZÁLEZ-DÍEZ, A. (2019): «Gold-bearing Plio-Quaternary deposits: Insights from airborne LiDAR technology into the landscape evolution during the early Roman mining works in north-west Spain», *Journal of Archaeological Science: Reports*, n.º 24, pp. 843-855.

FERREIRO DIZ, O.; GONZÁLEZ DOVAL, C.; RIAL FIGUEIRAS, M. T., y FERNÁNDEZ PEREIRO, M. (2017): «Minería aurífera romana y poblamiento en la cuenca media del río Miño», *Investigaciones arqueológicas en el valle del Duero. Actas de las V Jornadas de Jóvenes Investigadores del Valle del Duero: Del Paleolítico a la Edad Media (Valladolid, 12 y 14 de noviembre de 2015)*. Edición de A. Álvarez Rodríguez, C. Tejedor-Rodríguez e I. García Vázquez. Valladolid: Glyphos Publicaciones, pp. 296-311.

FLEMING, A. (2006): «Post-processual Landscape Archaeology: a Critique», *Cambridge Archaeological Journal*, 16, pp. 267-280.

FONTE, J.; PIRES, H.; GONÇALVES-SECO, L.; MATÍAS, R., y LIMA, A. (2014): «Archaeological research of ancient mining landscapes in Galicia (Spain) using Airborne Laser Scanning data», *Paisagens mineiras antigas na Europa Ocidental. Investigação e Valorização cultural. Atas do Simposio Internacional. (Boticas (Portugal), 25-26-27 julbo 2014)*, p. 198.

FREELAND, T.; HEUNG, B.; BURLEY, D. V.; CLARK, G., y KNUDBY, A. (2016): «Automated feature extraction for prospection and analysis of monumental earthworks from aerial LiDAR in the Kingdom of Tonga», *Journal of Archaeological Science*, n.º 69, pp. 64-74.

GAGO MARIÑO, M., y FERNÁNDEZ MALDE, A. (2015): «Un posible campamento romano en O Cornado (Nigreira, Galicia)», *Nailos: Estudios Interdisciplinares de Arqueología*, n.º 2, pp. 229-251.

GASPARINI, M.; MORENO-ESCRIBANO, J. C., y MONTERROSO-CHECA, A. (2019): «Identifying the Roman road from Corduba to Emerita in the Puente Nuevo reservoir (Espiel-Córdoba/Spain)», *Journal of Archaeological Science: Reports*, n.º 24, pp. 363-372.

GASSIOT BALLBÈ, E., y PÈLACHS MAÑOSA, A. (2017): «La ocupación ganadera de los Pirineos occidentales de Catalunya en época romana e inicios de la Edad Media», *Treballs d'Arqueologia*, 21, pp. 287-306.

GRAU MIRA, I. (2016): «Las investigaciones del paisaje rural protohistórico y romano en el área oriental de Iberia con técnicas no destructivas», *La revalorización de zonas arqueológicas mediante el empleo de técnicas no destructivas. Reunión científica (Mérida (Badajoz, España), 12-13 de junio de 2014)*. Edición de Victorino Mayoral Herrera. Mérida: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Arqueología, pp. 263-280.

— (2017): «Archaeological surveys in areas with a high density of artefacts: Analysis and interpretation proposals», *Quaternary International*, n.º 435, pp. 71-80.

GRAU MIRA, I., y SEGURA MARTÍ, J. (2016): «L'assentament Ibèric del Cabeçó de Mariola (Alfafara, Alacant; Bocairent, València): plantejaments i primers resultats de la recerca», *Recerques del Museu d'Alcoi*, n.º 25, pp. 69-80.

HESSE, R. (2010): «LiDAR-derived local relief models-a new tool for archaeological prospection», *Archaeological Prospection*, n.º 17 (2), pp. 67-72.

— (2016): «Visualisierung hochauflösender Digitaler Geländemodelle mit LiVT», *3D-Anwendungen in der Archäologie. Computeranwendungen und quantitative Methoden in der Archäologie. Workshop der AG CAA und des Exzellenzclusters Topoi 2013*. Edición de U. Lieberwirth e I. Herzog. Berlin: Edition Topoi, pp. 109-128.

- HESSE, R., y COSTA-GARCÍA, J. M. (2016): «LiDAR-Daten als Grundlage archäologischer Prospektionen in der Hispania Romana», *Aktuelle Forschungen zur Provinzialrömischen Archäologie in Hispanien*. Edición de F. Teichner. Marburg: Philipps-Universität Marburg, pp. 35-41.
- KOKALJ, Ž., y HESSE, R. (2017): *Airborne laser scanning raster data visualization: a guide to good practice*. Ljubljana: Založba ZRC.
- KOKALJ, Ž., y SOMRAK, M. (2019): «Why not a single image? Combining visualizations to facilitate fieldwork and on-screen mapping», *Remote Sensing*, n.º 11 (7), pp. 747.
- KOKALJ, Ž.; ZAKŠEK, K., y OŠTIR, K. (2011): «Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models», *Antiquity*, n.º 85 (327), pp. 263-273.
- LAMBERS, K., y TRAVIGLIA, A. (2016): «Automated detection in remote sensing archaeology: a reading list», *AARGnews*, n.º 53, pp. 25-29.
- LAURENT, A.; MORET, P.; FABRE, J. M.; CALASTRENC, C., y POIRIER, N. (2019): «La cartographie multi-scalaire d'un habitat sur un site accidenté: la Silla del Papa (Espagne). Multi-scale mapping of a habitat on a rugged site: Silla del Papa (Spain)», *Archéologies numériques, vol. 3. Numéro 1. Proceedings of the session n.º III-3 (CA) of the XVIII^o UISPP congress, Paris, June 2018 Session III-3 (CA)*. Construire des référentiels partagés: Webmapping et archéologie. ISTE OpenScience.
- MAGNONI, A.; STANTO, T. W.; BARTH, N.; FERNÁNDEZ-DÍAZ, J. C.; LEÓN, J. F. O.; RUIZ, F. P., y WHEELER, J. A. (2016): «Detection Thresholds of Archaeological Features in Airborne Lidar Data from Central Yucatán», *Advances in Archaeological Practice*, 4(03), 232-48.
- MAÑANA-BORRAZÁS, P., y GÜMIL-FARIÑA, A. (2013): «Documentación xeométrica do castro de Santa Comba e a sua contorna: do GPS ao LIDAR aéreo», *O xacemento de Santa Comba e a minería de Covas. Investigacións recentes*. Edición de X.-L. Armada y V. Alonso. Ferrol: Émbora, pp. 73-82.
- MARTÍN EXTEBARRIA, G. (2017): «Aproximación al estudio de tres fuertes de los conflictos carlistas en el entorno de Bilbao», *Revista Arkeogazte Aldizkaria*, n.º 7, pp. 193-220.
- MATÍAS, R., y LLAMAS, B. (2018): «Use of LIDAR and photointerpretation to map the water supply at the Las Murias-Los Tallares Roman gold mine (Castrocontrigo, León, Spain)», *Archaeological Prospection*, n.º 25 (1), pp. 59-69.
- (2019): «Analysis using LIDAR and photointerpretation of Las Murias-Los Tallares (Castrocontrigo, León-Spain): one of the biggest roman gold mines to use the “Peines” system», *Geoheritage*, n.º 11 (2), pp. 381-397.
- MENÉNDEZ BLANCO, A.; GONZÁLEZ ÁLVAREZ, D., y COSTA GARCÍA, J. M. (2015): «A Serra da Casiña (Valboa, León): un campamento romano en las montañas bercianas», *Revista Arkeogazte*, n.º 5, pp. 239-251.
- MENÉNDEZ BLANCO, A.; GONZÁLEZ ÁLVAREZ, D.; COSTA GARCÍA, J. M.; FONTE, J.; GAGO MARIÑO, M., y ÁLVAREZ MARTÍNEZ, V. (2017): «Seguindo os passos do exército romano: uma proposta metodológica para a deteção de assentamentos militares romanos no Noroeste Peninsular», *Genius Loci: lugares e significados/places and meanings*, vol. 2. Edición de L. Rosas, A. C. Sousa y H. Barreira. Porto: CITCEM (Centro de Investigação Transdisciplinar «Cultura, Espaço e Memória»), pp. 67-79.
- MLEKUŽ, D. (2013): «Skin Deep: LiDAR and Good Practice of Landscape Archaeology», *Good Practice in Archaeological Diagnostics. Natural Science in Archaeology*. Edición de Cristina Corsi, B. Slapšak y Frank Vermeulen. Cham: Springer, pp. 113-29.
- (2018): «Airborne Laser Scanning and Landscape Archaeology», *Opuscula Archaeologica* 39/40, pp. 85-95.
- MONTERROSO-CHECA, A. (2017): «Remote sensing and archaeology from Spanish LiDAR-PNOA: Identifying the amphitheatre of the roman city of torreparedones (Córdoba-Andalucía-Spain)», *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, n.º 17 (1), pp. 15-22.
- (2019): «Geoarchaeological Characterisation of Sites of Iberian and Roman Cordoba Using LiDAR Data Acquisitions», *Geosciences*, n.º 9 (5), pp. 205-222.
- MORET, P.; PRADOS, F.; FABRE, J.-M.; FERNÁNDEZ, E.; GARCÍA, F. J.; GONZÁLEZ, F., y JIMÉNEZ, H. (2017): «La Silla del Papa: hábitat y necrópolis (campanas 2014-2016)», *Mélanges de la Casa de Velázquez*, n.º 47 (1), pp. 51-73.
- OPITZ, R. S. (2013): «An overview of airborne and terrestrial laser scanning in archaeology», *Interpreting Archaeological Topography*. Edición de R. Opitz y D. Cowley. Oxford: Oxbow Books, pp. 13-31.
- OREJAS SACO DEL VALLE, A. (1995): *Del «marco geográfico» a la arqueología del paisaje: la aportación de la fotografía aérea*. Madrid: Editorial CSIC, vol. 15.

- ORENGO, H. A.; EJARQUE, A., y ALBIACH, R. (2013): «El territorio de la ciudad iberorromana de La Carència: resultados del análisis micro-regional del paisaje arqueológico», *L'oppidum de la Carència de Torís i el seu territori*. Edición de Rosa Albiach Descals. Valencia: Servicio de Investigación Prehistórica del Museo de Prehistoria de Valencia, n.º 116, pp. 281-292.
- ORTEGA, M. J.; ORENGO, H. A., y PALET, J. M. (2015): «El paisaje histórico de la llanura litoral de València: arqueomorfología, estructuración territorial y SIG», *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, n.º 17, pp. 187-203.
- ORÚE, I. (2013): «Fotointerpretación y teledetección como herramienta para la localización de estructuras mineras prehistóricas en la sierra de Araico (Burgos-Araba)», *CKQ. Estudios de Cuaternario*, n.º 3, pp. 77-90.
- PICAZO MILLÁN, J. V.; PÉREZ LAMBÁN, F.; FANLO LORAS, J., y LEORZA ÁLVAREZ DE ARCAYA, R. (2018): «Minas de sílex prehistóricas en el valle medio del Ebro. Las explotaciones de La Leandra (La Muela, Zaragoza)», *Actas del II Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés, Sección 1. Prehistoria*. Edición de J. I. Lorenzo y J. M. Rodanés. Zaragoza: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón, pp. 103-111.
- PORCHEDDU, A. (2018): «LIDAR for landscape archaeology: detecting archaeological features in the Àger Valley», *Medieval Territories*. Edición de F. Sabaté y J. Brufal. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, pp. 10-26.
- SÁNCHEZ PARDO, J. C., y GALBÁN MALAGÓN, C. J. (2015): «Fortificaciones de altura en el entorno de Santiago de Compostela. Hacia un primer análisis arqueológico comparativo», *Nailos: Estudios Interdisciplinarios de Arqueología*, n.º 8, pp. 125-161.
- SÁNCHEZ RINCÓN, R. (2011): «La evolución del hábitat en el yacimiento de San Andrés (Salinas de Añana, Álava). Primeras aproximaciones», *Estudios de Arqueología Alavesa*, n.º 27, pp. 217-228.
- SARABIA-BAUTISTA, J. (2016): «El paisaje rural y suburbano de El Tolmo de Minateda (Hellín) durante la Antigüedad Tardía y la Alta Edad Media», *Actas de la I Reunión científica de Arqueología de Albacete*. Edición de B. Gamó Parras y R. Sanz Gamó. Albacete: Instituto de Estudios Albacetenses, pp. 72-743.
- ŠTULAR, B.; KOKALJ, Ž.; OŠTIR, K., y NUNINGER, L. (2012): «Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features», *Journal of Archaeological Science*, n.º 39 (11), pp. 3354-3360.
- TARRIÑO, A.; ELORRIETA, I.; GARCÍA-ROJAS, M.; ORÚE, I., y SÁNCHEZ, A. (2014): «Neolithic flint mines of Treviño (Basque-Cantabrian Basin, Western Pyrenees, Spain)», *Journal of Lithic Studies*, n.º 1, (1), pp. 129-147.
- TRIER, Ø. D.; COWLEY, D. C., y WALDELAND, A. U. (2019): «Using deep neural networks on airborne laser scanning data: Results from a case study of semiautomatic mapping of archaeological topography on Arran, Scotland», *Archaeological Prospection*, n.º 26 (2), pp. 165-175.
- TRIER, Ø. D.; ZORTEA, M., y TONNING, C. (2015): «Automatic detection of mound structures in airborne laser scanning data», *Journal of Archaeological Science: Reports*, n.º 2, pp. 69-79.
- VERHOEVEN, G. J. (2017): «Are We There Yet? A Review and Assessment of Archaeological Passive Airborne Optical Imaging Approaches in the Light of Landscape Archaeology», *Geosciences*, n.º 7, p. 86.
- VERSCHOOF-VAN DER VAART, W. B., y LAMBERS, K. (2019): «Learning to Look at LiDAR: The Use of R-CNN in the Automated Detection of Archaeological Objects in LiDAR Data from the Netherlands», *Journal of Computer Applications in Archaeology*, n.º 2 (1), pp. 31-40.
- VIDAL-ENCINAS, J. (2015): «La aportación de las infraestructuras de datos espaciales al conocimiento de nuevos sitios castreños en la provincia de León», *Férvedes, Actas do III Congreso Internacional de Arqueoloxía de Vilalba*, n.º 8, pp. 25-34.
- VIDAL ENCINAS, J.; COSTA GARCÍA, J. M.; GONZÁLEZ ÁLVAREZ, D., y MENÉNDEZ BLANCO, A. (2018): «La presencia del ejército romano en las montañas de El Bierzo (León): novedades arqueológicas», *Anales de Arqueología Cordobesa*, n.º 29, pp. 85-110.
- ZAKŠEK, K.; OŠTIR, K., y KOKALJ, Ž. (2011): «Sky-view factor as a relief visualization technique», *Remote Sensing*, n.º 3 (2), pp. 398-415.