

Innovación docente

LIDAR XXI: técnicas topográficas del siglo XXI aplicadas a la detección de yacimientos arqueológicos ocultos por vegetación

LIDAR XXI: topographic techniques of the XXI century applied to the detection of archaeological sites hidden by vegetation

Jesús Rodríguez-Bulnes¹  0009-0006-5974-0523

Emilio García Soto¹  0009-0003-0428-5832

José Manuel López Funes¹  0009-0003-2153-4300

¹Profesor de Formación Profesional en el Centro Ave María San Cristóbal.

Correspondencia

Jesús Rodríguez-Bulnes: jmrodriguez@sancristobal.amgr.es

Emilio García Soto: emiliogs@sancristobal.amgr.es

José Manuel López Funes: jfunes@sancristobal.amgr.es

Fechas:

Recibido: 03/07/2023

Aceptado: 26/07/2023

Publicado: 30/09/2023

Conflicto de intereses:

En esta publicación no se presentó ningún conflicto de interés.

Financiación:

En esta publicación no ha recibido ninguna ayuda o financiación.

RESUMEN

LIDAR XXI es un proyecto educativo, que nace con la finalidad de incluir dentro de la formación profesional del ciclo formativo de proyectos de obra civil, los últimos avances tecnológicos relacionados con el sector de la cartografía y la topografía. Fue seleccionado entre los 30 proyectos ganadores más innovadores de formación profesional a nivel nacional, de los 180 presentados a la convocatoria Caixabank Dualiza del curso 2021-2022. La participación en este programa supuso recibir la financiación necesaria para su ejecución y desarrollo. El proyecto tiene una doble finalidad, por un lado, aportar innovación a la formación profesional incorporando tecnología de última generación y por otro, realizar una investigación en colaboración con el laboratorio de arqueología Biocultural-MEMOLab de la universidad de Granada, determinando la optimización de la aplicación LIDAR a la detección de yacimientos arqueológicos.

Palabras clave: Formación profesional superior; LIDAR; Arqueología; Topografía; Drones.

ABSTRACT

LIDAR XXI is an educational project, which was born with the purpose of including “ciclo formativo grado superior en proyectos de obra civil”, the latest technological advances related to the cartography and surveying sector. It was selected among the 30 most innovative winning projects of vocational training at national level, of the 180 presented to the Caixa-bank Dualiza call for the 2021-2022 academic year. Participation in this programme meant receiving the necessary funding for its implementation and development. The project has a double purpose, on the one hand, to bring innovation to professional training by incorporating state-of-the-art technology and, on the other, to carry out research in collaboration with the Biocultural-MEMOLab archaeology laboratory of the University of Granada, determining the optimization of the LIDAR application to the detection of archaeological sites.

Keywords: Higher vocational training; LIDAR; Archaeology; Topography; Drone.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Rodríguez-Bulnes, J., García Soto, E., & López Funes, J. (2023). LIDAR XXI: técnicas topográficas del siglo XXI aplicadas a la detección de yacimientos arqueológicos ocultos por vegetación. *UNES. Universidad, Escuela y Sociedad*, 16, 171–185. <https://doi.org/10.30827/unes.i16.28660>

Introducción

Las nuevas técnicas de registro fotogramétrico SfM¹ y LIDAR están sustituyendo a la clásica toma de datos en campo con cinta, distanciómetro o estación total. Así mismo, las representaciones gráficas por línea se están sustituyendo o complementando por otro tipo de representaciones tecnológicas, más completas e intuitivas, basadas en la captura de millones de puntos en 3D con textura y sus posteriores representaciones digitales sobre ortomosaico y superficies como DSM (modelo digital de superficie) y DTM (modelo digital del terreno). Además, su implantación sobre UAVs (vehículo aéreo no tripulado) permite la captura de complejas y extensas áreas y posibles emplazamientos arqueológicos cuya inspección visual sobre el terreno es complicada debido a la orografía o a la vegetación (Rodríguez-Bulnes et al., 2022). La utilización de esta tecnología implica la obtención de gran cantidad de datos muy precisos en un breve espacio de tiempo.

¿Qué es la tecnología LIDAR? LIDAR es el acrónimo de Light Detection and Ranging. Se trata de un sensor activo, ya que produce su propia luz en forma de pulsos láser, midiendo la distancia entre el punto de emisión hasta el punto de impacto con el objeto o superficie. Para ello, realmente lo que se mide es el tiempo que tarda ese pulso láser en llegar a un objetivo y volver al mismo, calculando la distancia entre los dos puntos. Los componentes principales de los que está compuesto un sistema de medida LIDAR incluyen una plataforma (avión, UAV, automóvil, trípode, mochila, barco, etc.), un sistema de escáner láser, un sistema GNSS (Sistema de posicionamiento global) y un sistema de navegación inercial (INS) que mide los parámetros de rotación, inclinación y encabezamiento del sistema. (Puliti, 2020, Web IGN, 2022). En el proyecto se ha utilizado como plataforma el UAV modelo Matrice 300 de DJI y se ha montado como sensor el LIDAR Alpha Air 450 de la marca CHC-NAV. Este LIDAR funciona de forma autónoma, independiente del UAV en el que es montado, integrando un sensor LIDAR Livox Avia y un sensor RGB marca Sony de 26 MP, con el que es posible dotar de colorido RGB a la nube de puntos y poder realizar fotogrametría SfM.

La técnica LIDAR aerotransportada por UAV, para la captura masiva de la realidad, genera productos cartográficos de alta resolución y precisión. Destaca como característica principal de esta tecnología, la posibilidad de aplicar al resultado de nube de puntos, algoritmos de filtrado para la eliminación de la mayoría de la vegetación que cubre el terreno, obteniendo un gemelo digital que muestra la topografía con total precisión. Para la consecución del proyecto se ha contado con la colaboración de varias empresas del sector, cada una especialista en las distintas disciplinas necesarias y con el laboratorio de arqueología Biocultural-MEMOLab de la Universidad de Granada. Este úl-

¹ SfM: Structure from Motion. Financiación: CaixaBank Dualiza, convocatoria 2021-2022 y Fundación Patronato Ave Mariano de Granada.

timo propuso como caso de estudio la zona del valle del Espique en el término municipal de La Peza (Granada). Se trata de un espacio de gran interés arqueológico, con restos de ocupación de época tardoantigua y medieval, incluyendo la cerámica y estructuras visibles en superficie tanto poblamiento como un castillo, conocido popularmente como el Castillejo de La Peza (Martín y Martín 1999, 369-370; Bertrand et al. 2002; Espinar 2007). La zona está cubierta por vegetación alta y densa, por lo que no permite la visibilidad de restos a simple vista desde una UAV.

La técnica que se propone consiste en sobrevolar la zona con el equipo anteriormente mencionado (UAV+LIDAR), obteniendo una nube de puntos compleja a la que se aplicará una serie de algoritmos matemáticos para segmentar, filtrar y clasificar los puntos en función el objeto al que pertenecen: terreno, arboleda alta, arboleda baja, edificación, etc. Una vez optimizada la nube de puntos se trabajará sólo sobre los puntos de la orografía para obtener una representación cartográfica del terreno de alta precisión. Esta información sería bastante difícil de obtener mediante topografía clásica, además se debe de tener en cuenta el incremento de tiempo y presupuesto que serían necesarios y no se llegaría al nivel de detalle obtenido con la técnica LIDAR.

El producto cartográfico generado a partir de la nube de puntos permite la aplicación de algoritmos de visualización LIDAR como Hillshade, realizando el contraste del relieve de manera sencilla pero muy eficaz para los fines que se persiguen. Del análisis de esta información se buscan formas antropomórficas, que den indicios de interés arqueológico. Esta metodología supone un gran avance para los arqueólogos, pues permite centrar los esfuerzos del trabajo de campo en áreas concretas. En arqueología, los documentos gráficos constituyen el soporte fundamental donde plasmar los hallazgos, facilitando su localización, el análisis y la difusión de los resultados (Martín Talaverano 2014). Disponer de un registro contextualizado y georreferenciado es hoy un requisito indispensable en cualquier intervención arqueológica.

Método

Para la consecución del proyecto se realizó la siguiente programación:



Figura 1. Flujograma de trabajo

Se establecieron 3 bloques en el desarrollo del proyecto: formación, trabajo de campo y trabajo de oficina.

Formación

La tecnología de LIDAR aerotransportado por UAV, es muy novedosa. De hecho, la unidad LIDAR utilizada en el proyecto: CHC AA450, es la primera que ha llegado a España de esta marca comercial. Esta situación conlleva una formación previa tanto de alumnado como de profesorado participante en el proyecto.



Figura 2. UAV DJI Matrice 300 RTK + CHC AA450

- a. Formación en UAV: La unidad LIDAR es aerotransportada por una UAV, para volar dicha aeronave en el espacio aéreo europeo es necesario disponer de un título habilitante y conocer la normativa vigente. Para esta formación contamos con la colaboración de la empresa Toposur Proyectos y Topografía S.L, profesionales e instructores de aeronaves UAV. En el aula se impartió la formación en 2 bloques: normativa y ejecución de vuelo.

Normativa: se realizó una visión general de leyes que regulan la utilización de UAV en España. A partir del 31 de diciembre de 2020 es de aplicación la normativa europea de UAS. Esta norma afecta a todos los drones independientemente de su uso o tamaño. Normativa Europea consolidada:

Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 consolidado que incluye los cambios del Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639, Reglamento de Ejecución (UE) 2020/746, Reglamento de Ejecución 2021/1166 y Reglamento de Ejecución (UE) 2022/425.

<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/normativa-europea-de-uas-drones>

Programación de vuelo: para la realización de un vuelo técnico con LIDAR la UAV ha de seguir una ruta concreta, a una velocidad y altura determinadas. Esta operativa requiere de una programación de vuelo con un software de autopiloto que controle todos los parámetros de la aeronave durante el vuelo, y permita realizar la ruta de manera totalmente precisa. Es importante advertir que antes de comenzar la misión planificada para LIDAR, es imprescindible calibrar su IMU (unidad de medida inercial) interno, realizando para ello un pequeño vuelo con una trayectoria en forma de "8", comenzando la misión automáticamente una vez que ha concluido. (AlphaAir 450 UAV LIDAR SOLUTIONS MAPPING & GEOSPATIAL, 2022). Los alumnos adquirieron conocimientos del software profesional específico y configuraron todos los parámetros de vuelo del autopiloto.

- b. Formación en LIDAR: La empresa suministradora del escáner en España fue AC Consulting 21, quien realizó en nuestras aulas una descripción de las características, de las aplicaciones y del potencial del instrumento. Se detallaron los condicionantes que ha de cumplir la programación de vuelo, específica para el LIDAR. Se realizó formación sobre el software especializado para tratar los datos brutos, también denominados datos primarios, que constituyen una serie de mediciones del tiempo y de las intensidades de los pulsos devueltos. (Lozić & Štular, 2021). En la etapa de registro estos datos se correlacionan con la información de la base GNSS, las imágenes capturadas por el sensor RGB (para colorear la nube de puntos), la unidad de medición inercial (IMU) y los puntos de apoyo (GCP) para calcular la posición geodésica de cada retorno. (Wehr, 2018) (Lozić & Štular, 2021). Como resultado se obtiene una nube de puntos, en la que cada uno de ellos contiene información de posición X,Y,Z, color RGB y velocidad de retorno. Para este procesado inicial se utiliza un software con licencia proporcionado por la marca que fabrica el LIDAR, Copre V.2.



Figura 3.
Formación
en el aula

- c. Formación en producción gráfica arqueológica: profesores del laboratorio MEMOLab de la Universidad de Granada impartieron una clase a los alumnos sobre la importancia que tienen los documentos gráficos como soporte fundamental donde plasmar hallazgos, facilitando su localización, análisis y difusión de los resultados. Dieron directrices de cómo interpretar la información técnica desde un punto de vista arqueológico y qué parámetros eran importantes para permitir un estudio adecuado.
- d. Formación topográfica específica: Para la correcta georreferenciación de los datos es necesario la utilización de técnicas topográficas que complementen los vuelos con UAV. Esta formación estuvo a cargo de D. Raúl Merchante, topógrafo en activo y con una gran experiencia en el sector. Instruyó sobre los instrumentos topográficos específicos y cómo utilizarlos para los fines del proyecto. Se realizaron prácticas en los campos deportivos del centro formativo.



Figura 4.
Formación práctica
en topografía

- e. Prácticas de campo: fruto del acuerdo de colaboración entre el centro educativo Ave María San Cristóbal y el Club de Aeromodelismo Granada, los alumnos pudieron realizar sus primeros vuelos programados con autopiloto con UAV bajo la instrucción y supervisión de los profesores que son pilotos profesionales. Se eligió este emplazamiento para que esta primera experiencia se desarrollara en un entorno seguro y controlado. Contamos para esta sesión con la colaboración de Ofiteat, empresa internacional del sector de la topografía y las UAVs. Esta empresa realizaría posteriormente los vuelos LIDAR sobre el área de estudio en la Peza. Todos los alumnos tuvieron la posibilidad de realizar un vuelo con una UAV marca DJI, modelo Phantom 4, donde programaron los parámetros de vuelo: altura, velocidad, solape transversal y longitudinal, etc.



Figura 5. Formación práctica en UAV. Club Aeromodelismo Granada

Ejecución de proyecto: trabajo de campo

Previo a la jornada de campo, se realizó una sesión de trabajo en el aula en la que, a través de ortofotografías del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) del Instituto Geográfico Nacional, se dividió la zona de trabajo en dos subzonas donde se debía poner en práctica, por parte de los alumnos y de forma autónoma, los conocimientos adquiridos en la fase de formación del proyecto. Concretamente debían planificar la programación del vuelo y la georreferenciación del mismo.

Cada una de las subzonas fue asignada a un grupo de trabajo, que estaba compuesto por varios alumnos, un profesor y un técnico de la empresa especializada en la toma de datos con drones. Atendiendo a la planificación previa y siguiendo las indicaciones del profesor y del técnico de la empresa, los alumnos se encargaron de realizar los siguientes trabajos:

- Georreferenciación: a partir de técnicas GNSS, se obtienen las coordenadas de puntos de apoyo que se utilizarán para realizar una georreferenciación precisa de la nube de puntos densa obtenida a partir del LIDAR aerotransportado. Con este objetivo se utiliza el sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica, ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). Las coordenadas se obtienen directamente en campo y con las indicaciones del técnico de la empresa y del profesor, los alumnos seleccionan los puntos más adecuados para la realización de una georreferenciación precisa, líneas de rotura, puntos singulares o característicos con buena visibilidad, etc.

En esta misma fase del trabajo de campo, los alumnos midieron una serie de puntos de control repartidos por toda la zona en estudio. Estos puntos de control nos servirán para comprobar la precisión del trabajo, comparando las coordenadas de dichos puntos con las obtenidas a partir de la nube de puntos capturada mediante tecnologías LIDAR.



Figura 6. Georreferenciación. Levantamiento topográfico en la Peza

- Ejecución del vuelo: El dron utilizado para este trabajo fue un DJI Matri-ce 300 que nos permite acoplar el escáner LIDAR CHCNAV AA450. Los alumnos, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en la fase de formación, introdujeron los parámetros de altura, velocidad de vuelo y solape transversal y longitudinal. La correcta definición de estos parámetros permitió a la UAV realizar el trabajo de forma autónoma.

Antes de la realización del vuelo se seleccionó una zona óptima de despegue y aterrizaje de la UAV, que permitiera su enlace visual durante todo el vuelo, al mismo tiempo se hicieron las comprobaciones necesarias para asegurar la calibración de los instrumentos de orientación de la UAV.

Como la zona en estudio era grande, la planificación del vuelo que realizaron los alumnos permitió prever la duración del vuelo para disponer el número de baterías necesarias para llevar a cabo el correcto barrido de toda la zona con el dron. Así mismo, se tuvo en cuenta que las condiciones meteorológicas en el día elegido fuesen favorables para la ejecución del vuelo.

Una vez terminada la fase de toma de puntos en campo, los dos grupos se coordinaron para realizar el intercambio de datos, y así continuar con la fase de trabajo de oficina.

Ejecución de proyecto: trabajo de oficina

Para realizar el procesado de todos los datos tomados en la campaña de campo, se dispuso el aula de tal forma que el alumnado pudiera trabajar por equipos, pudiendo así colaborar entre ellos en la resolución de los posibles problemas que se pueden presentar en este tipo de procesado de datos.

Cabe indicar, que previo al inicio de la fase de procesado de datos, todos los alumnos realizaron la instalación de los programas empleados en este proceso.

Para el procesado de la información, lo alumnos siguieron la siguiente secuencia de trabajo:

- Descargar los datos del LIDAR obtenidos en la campaña de campo, donde se capturaron masivamente todos los puntos.
- Procesado con CoPre V2: Este software específico de la marca CHC se utiliza para procesar los datos crudos obtenidos del LIDAR. Este subproceso se compone de varios pasos:
- Posicionamiento: En esta fase se relacionan los datos de los inerciales y GNSS del LIDAR con los topográficos tomados en la fase de campo, calculando con total precisión la ruta que ha seguido el UAV durante su vuelo. En esta ruta precisa se basan todos los cálculos posteriores.
 - Ajuste: Cuando se programa la ruta de vuelo se ha de fijar un solape entre pasadas que permita la unión entre las mismas. En el procesado del ajuste, el software minimiza los posibles errores de cota que pudieran existir entre las pasadas consecutivas.
 - Refinado: En este punto partimos de una nube de puntos que está georreferenciada solo por los datos GNSS almacenados durante el vuelo, aunque son bastante precisos se pueden mejorar y comprobar con el refinado de datos. Se utilizarán los puntos que se materializaron en la fase de toma topográfica como puntos de apoyo y que son identificables en la nube de puntos. El software compara la coordenada del punto de apoyo con la coordenada del punto identificada en la nube de puntos, reflejando el error y dando la posibilidad de ajustarlo.
 - Exportación: finalmente la nube de puntos se exporta al formato LAS, siendo este un formato de archivo público que permite el intercambio de ficheros que contienen información de una nube de puntos tridimensional. El formato LAS es un archivo binario que mantiene toda la información procedente del sistema LIDAR.
- Clasificación: Se puede afirmar que uno de los pasos más importantes de la metodología LIDAR es la clasificación automática de puntos de terreno o no terreno. Se trata de un proceso probabilístico, en el que cualquier clasificación incluye fallos positivos (puntos de tierra clasificados como no suelo) y falsos negativos (puntos no terrestres clasificados como suelo). (Lozić & Štular, 2021). Existen numerosos algoritmos para filtrado: groun-

dFilter, implementado en software Fusión, filtro de umbral de pendiente y elevación local máximo implementado en ALDPAT (Airborne LIDAR Data Processing and Analysis Tools), filtro morfológico simple disponible como herramienta para MATLAB, Lasground and Lasground-new parte de LIDAR LAsTools, etc. (Căţeanu & Arcadie, 2017). Para la clasificación de la nube densa generada con LIDAR AA450 se ha aplicado el algoritmo lasground (LAsTools), con los siguientes parámetros: todos los retornos, nature and ultra-fine. (Yang et al, 2016; Rizaldy et al, 2018, Doneus et al, 2020; Nurunna-bi et al, 2021). Con este proceso los alumnos consiguieron “eliminar” la vegetación dejando al descubierto el terreno y por consiguiente los posibles yacimientos ocultos bajo la vegetación, objetivo técnico final del proyecto.

- Generación de cartografía: la nube de puntos proporciona una visión espectacular y realista de la zona de trabajo, pero difícilmente interpretable y útil por sí sola. Es necesario realizar una producción cartográfica para una correcta lectura. Para ello se ha utilizado software SIG de código libre: QGis, produciendo el modelo digital del terreno en formato raster.
- Ortofotografía: el sistema LIDAR solo es capaz de proporcionar una nube de puntos, sin color. Los puntos se visualizan según la intensidad con la que es devuelta la luz al sensor LIDAR. El AA450 está provisto de una cámara con la finalidad de proporcionar color RGB a la nube de puntos y poder realizar un proceso fotogramétrico en el que poder generar la ortofotografía de alta resolución de la zona. Esta proporciona información visual de gran calidad y valor.

Resultados

Como resultado principal se obtiene una nube de puntos, que después de todo el proceso de oficina está limpia, segmentada y clasificada. Se ha obtenido un gemelo digital de 897 millones de puntos.



Figura 7. Nube de puntos, 897 millones de puntos

Con la utilización de técnicas SIG se ha generado el modelo digital del terreno. Para una fácil interpretación se han aplicado algoritmos de HillShade que facilitan su lectura y que resaltan el relieve. Estos algoritmos simulan una iluminación del sol según los parámetros que definamos, y las sombras producidas son las que proporcionan la sensación de relieve.

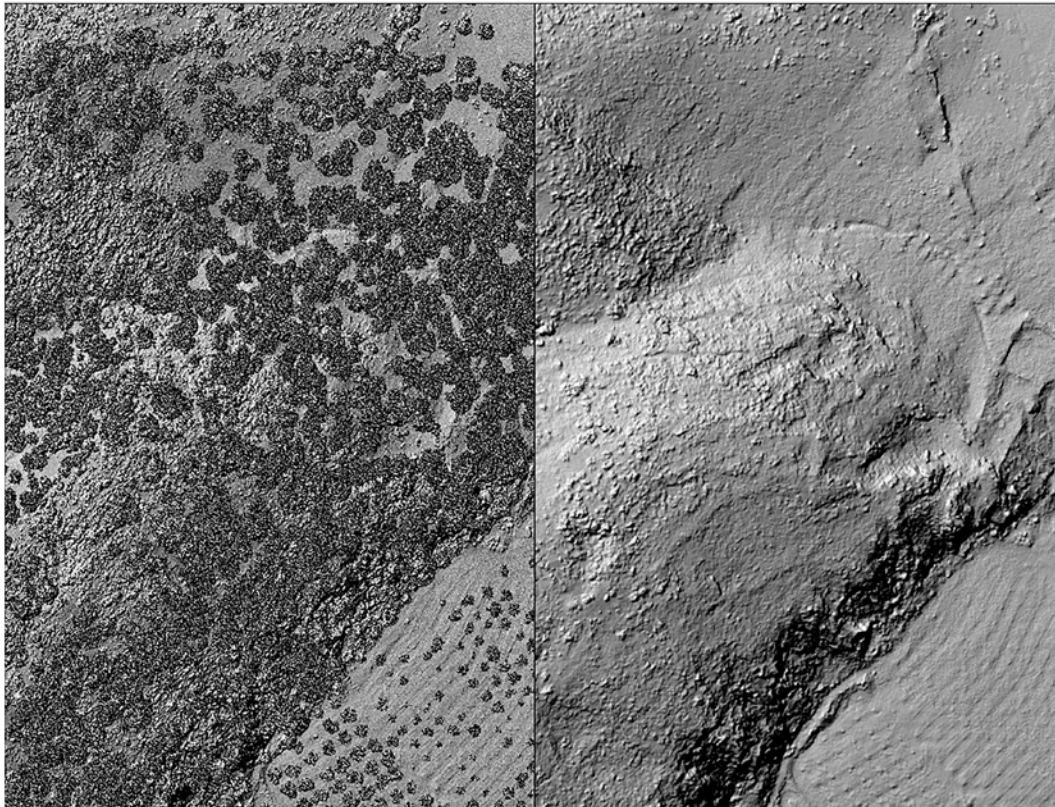


Figura 8. HillShade: Cartografía con vegetación / Cartografía sin vegetación

La ortofotografía obtenida es una imagen de alta resolución. Las imágenes raster están divididas por píxeles, y cada píxel almacena el color en formato RGB. Una manera de conocer la precisión de la imagen es conocer qué dimensión tiene la unidad de píxel a escala 1:1. En este caso el píxel tiene una dimensión de 1,5 cm/píxel.

El resultado final del proyecto consiste en la identificación y registro gráfico georreferenciado de dos formas antropomórficas en el terreno, que estaban ocultas por la vegetación, que no fueron detectadas en la inspección visual y que son susceptibles de estudio por parte de los profesionales de la arqueología.

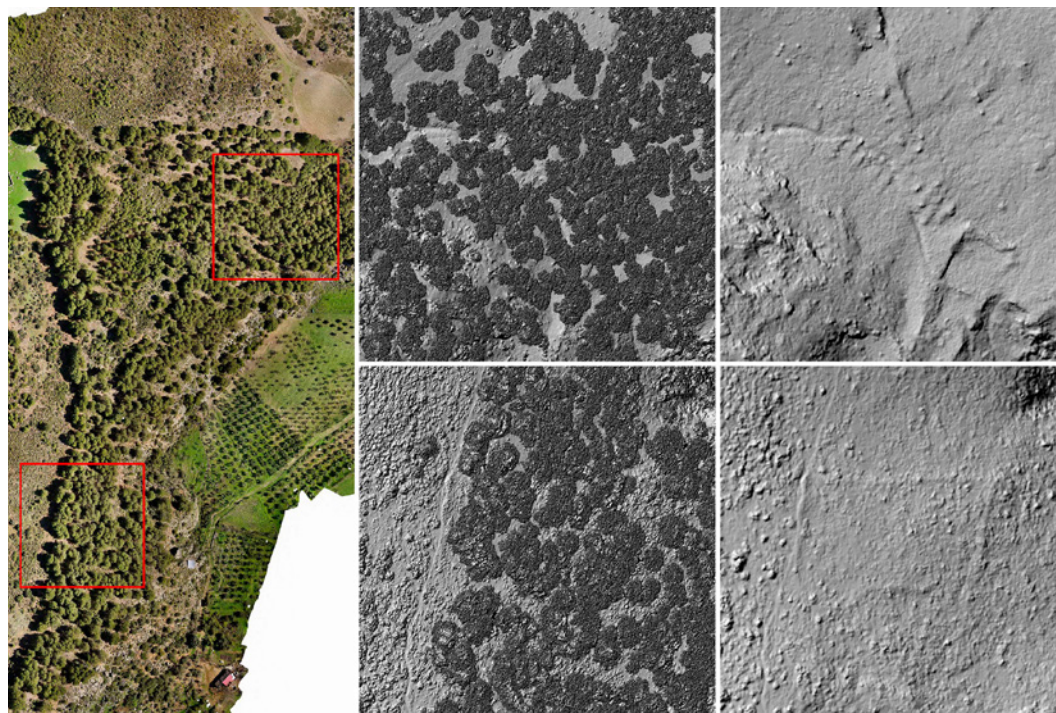


Figura 10.
Ubicación de
posibles zonas
de estudio

Conclusiones

La ejecución de este proyecto ha supuesto un cambio pedagógico en el ciclo formativo de grado superior de proyectos de obra civil. El primero y más evidente es que contamos desde el año 2022 con un LIDAR CHC AA450 que se ha incluido en el currículum de distintos módulos como: replanteos de obra, levantamientos topográficos y representaciones de construcción. En estos módulos se obtienen nubes de puntos que al terminar de ser tratadas son utilizadas en otros módulos específicos de desarrollo de proyectos, facilitando una representación de terreno como punto de partida. Por tanto, se han tenido que actualizar las programaciones de la mayoría de los módulos que componen el ciclo formativo.

Estos cambios son valorados de forma muy positiva por el equipo educativo, así como por las empresas en las que los alumnos realizan sus prácticas formativas de Dual y la formación en centros de trabajo (FCT). La utilización desde el año 2016 del sistema BIM (Building Information Modeling) de diseño de proyectos de construcción en el sector de la ingeniería, ha supuesto una revolución en la metodología de trabajo de este tipo de software que, al trabajar en todo momento en 3 dimensiones, ha absorbido rápidamente la técnica de nubes de puntos. Las empresas se encuentran en una situación en la que es muy difícil actualizar a su personal técnico en esta nueva metodología. El alumnado formado en estas tecnologías aporta a la empresa un conocimiento innovador muy valorado por el empresario, facilitando su incorporación al mundo laboral.

Este proyecto ha posibilitado la adquisición de saberes amplios por parte de nuestro alumnado; metodologías activas, trabajar de forma transversal, trabajo colaborativo, resolución de problemas cercanos, aprender a evaluar el proceso y fomentar la transferencia de conocimiento y tecnología. Lo que ha implicado la adquisición de unas competencias transversales de gran utilidad para el alumnado en su desarrollo personal y profesional.

Desde el punto de vista de la investigación y de la tecnología, la aplicación de las nubes de punto LIDAR obtenidas con UAV son un gran avance para la obtención de documentación gráfica en la arqueología. Hasta la fecha se disponían de nubes de puntos obtenidas por el instituto geográfico nacional. Cada 5 a 7 años realiza vuelos LIDAR de todo el territorio nacional, pero la escala y densidad de puntos no es lo suficientemente precisa para obtener resultados satisfactorios en zona de media y pequeña extensión. Fruto de este proyecto se ha escrito un artículo en la revista *Disegnarecon*, número 29: *The documentation of archaeological heritage through aerial photogrammetry and UAS-based LIDAR: the case study of the Espique valley (La Peza, Granada, Spain)*, donde se evalúa el aporte de la tecnología LIDAR aerotransportada por dron a la arqueología.

Referencias

- AlphaAir 450 UAV LIDAR SOLUTIONS MAPPING & GEOSPATIAL. (2022).
- Cățeanu, M., & Arcadie, C. (2017). Als for terrain mapping in forest environments: An analysis of LIDAR filtering algorithms. *EARSel EProceedings*, 16(1), 9–20. <https://doi.org/10.12760/01-2017-1-02>
- Lozić, E., & Štular, B. (2021). Documentation of Archaeology-Specific Workflow for Airborne LIDAR Data Processing. *Geosciences*, 11(1), 26. <https://doi.org/10.3390/geosciences11010026>
- Martín Talaverano, R. (2014). Documentación gráfica de edificios históricos: principios, aplicaciones y perspectivas. *Arqueología de La Arquitectura*, 0(11), e011. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2014.014>
- Puliti, S., Ene, L. T., Gobakken, T., & Næsset, E. (2017). Use of partial-coverage UAV data in sampling for large scale forest inventories. *Remote Sensing of Environment*, 194, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.019>
- Rizaldy, A., Persello, C., Gevaert, C. M., & Oude Elberink, S. J. (2018). FULLY CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR GROUND CLASSIFICATION FROM LIDAR POINT CLOUDS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV–2(2), 231–238. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-231-2018>
- Rodríguez-Bulnes, J., Benavides Lopez, J. A., Romero Pellitero, P., Martín Civantos, J. M., & Rouco Collazo, J. (2022). The documentation of archaeological heritage through aerial photogrammetry and UAS-based LIDAR: the case study of the Espique valley (La Peza, Spain). *Disegnarecon*. <https://doi.org/https://doi.org/10.20365/disegnarecon.29.2022.12>
- Rouco Collazo, J., Benavides López, J. A., & Martín Civantos, J. M. (2020). Falling from the sky. Aerial photogrammetry and LIDAR applied to the Archaeology of Architecture and Landscape: two fortifications from the Alpujarra (Granada, Spain).

- Yang, B., Huang, R., Dong, Z., Zang, Y., & Li, J. (2016). Two-step adaptive extraction method for ground points and breaklines from LIDAR point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 373–389. <https://doi.org/10.1016/j.isprs-jprs.2016.07.002>
- Zhang, Wu, & Yang. (2019). Forests Growth Monitoring Based on Tree Canopy 3D Reconstruction Using UAV Aerial Photogrammetry. *Forests*, 10(12), 1052. <https://doi.org/10.3390/f10121052>
- Zhang, H., Aldana-Jague, E., Ois Clapuyt, F., Wilken, F., Vanacker, V., & Oost, K. van. (2019). Evaluating the Potential of PPK Direct Georeferencing for UAV-SfM Photogrammetry and Precise Topographic Mapping. <https://doi.org/10.5194/esurf-2019-2>
- Zietara, A. M., & Skogseth, T. (2017). Creating Digital Elevation Model (DEM) based on ground points extracted from classified aerial images obtained from Unmanned Aerial Vehicle (UAV).