

Técnicas de fotogrametría digital y de escáner láser terrestre aplicadas a la documentación y valoración del patrimonio histórico

F Javier Cardenal Escarcena ¹

Emilio Mata de Castro ²

José Luis Pérez García ³

Antonio Mozas Calvache ⁴

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Universidad de Jaén

23071-JAÉN (ESPAÑA)

¹ jcardena@ujaen.es

² emata@ujaen.es

³ jlperz@ujaen.es

⁴ antmozas@ujaen.es

Resumen: Esta ponencia presenta las ideas y trabajos preliminares del proyecto *Integración de Técnicas de Fotogrametría y Escáner Láser Terrestre para la Documentación Patrimonial* (IFOTEL), con el que se pretende buscar la mejora y optimización de la documentación y puesta en valor del patrimonio cultural mediante la combinación de diferentes métodos de medida, especialmente de fotogrametría y técnicas de barrido láser, que aúnen las ventajas de todos ellos minimizando sus inconvenientes. Se han seleccionado una serie de ejemplos a través de los cuales se analizan los procedimientos de documentación en función de la aplicación concreta y en los que se estudia la adecuación de la calidad métrica del resultado final a unas especificaciones técnicas previamente establecidas en base al problema planteado.

Palabras clave: Documentación patrimonial, fotogrametría, Lídar terrestre (TLS), cámaras no métricas.

Abstract: This paper presents the previous works of the project *Integration of photogrammetric and terrestrial laser scanning techniques for heritage documentation* (IFOTEL) which aims with the improvement and optimization of heritage documentation by means of combination and integration of different methods and techniques, mainly close range photogrammetry, terrestrial laser scanner and surveying. The proposal of this project will allow joining the advantages of the different methods but also minimizing the disadvantages of each single technique. Several examples have been selected where the documentation procedures are analysed with respect to the practical application and the output metric quality referred to a previously set of technical specifications.

Keywords: Heritage documentation, photogrammetry, terrestrial LIDAR (TLS), non metric cameras

1. Introducción

El patrimonio histórico es un testimonio del pasado humano y, como tal, los objetos pertenecientes a este patrimonio muestran una gran variedad en su naturaleza, dimensiones y complejidad, desde pequeños objetos y piezas de museo a edificios históricos, conjuntos monumentales, centros históricos de ciudades y yacimientos arqueológicos. Este patrimonio está sujeto a un continuo deterioro por el paso del tiempo, guerras actuales y pasadas, desastres naturales y la propia negligencia humana. La importancia de la

documentación del patrimonio cultural está bien reconocida a nivel nacional e internacional. La UNESCO incluye en su definición de patrimonio cultural obras arquitectónicas, de escultura monumentales, estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas, grupos de construcciones, lugares, etc. que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte, de la etnología y antropología o de la ciencia (UNESCO, 1972). Hay que mencionar también que, de acuerdo con el Comité Internacional para la Documentación del Patrimonio Cultural (CIPA, *International Committee for Documentation of Cultural Heritage*; CIPA, 2010) un monumento y su entorno sólo puede ser restaurado y protegido cuando ha sido completamente medido, documentado y monitorizado, así como sus datos almacenados en un apropiado sistema de gestión e información. Conforme a estos propósitos, este trabajo presenta una serie de métodos para la documentación del patrimonio cultural basados en técnicas no invasivas. Todo ello contribuye a la caracterización geométrica de un bien cultural que sirva como base para su puesta en valor y asegure su continuidad temporal frente a su posible desaparición o deterioro. Admitiendo que el valor de un bien cultural no debe medirse exclusivamente en términos económicos, sino más bien atendiendo a su valor social y cultural.

2. Técnicas de medida para la documentación del patrimonio histórico

En la actualidad, los proyectos de documentación del patrimonio cultural emplean diversos métodos de adquisición de datos espaciales tales como topografía convencional (levantamientos taquimétricos), fotogrametría y las actuales técnicas de láser terrestre (*terrestrial laser scanner*, TLS). La elección de la tecnología apropiada (en cuanto a sensores, *hardware* y *software*), los procedimientos adecuados, el diseño del flujo de trabajo correcto y la calidad métrica del resultado final, conforme a unas especificaciones técnicas previamente establecidas, es siempre una cuestión crucial en este tipo de estudios (Patias et al, 2008). Evidentemente la selección de unas u otras metodologías puede ser un aspecto de difícil decisión.

Los métodos topográficos convencionales (la estación total y el GPS) empleados de forma separada suelen quedar relegados a la no disponibilidad de otras técnicas o a la reducida extensión del objeto/yacimiento/monumento y su entorno. Ello es debido al gran esfuerzo de trabajo de campo que suponen, así como a la menor densidad de la captura de datos, los cuales son datos exclusivamente espaciales (sin información radiométrica). Pero no hay duda que la topografía supone una herramienta auxiliar indispensable para los estudios del patrimonio al poder establecer el marco de referencia de coordenadas y la medida de los puntos de control. El GPS puede ser un sistema adecuado para la georreferenciación directa de las nubes de puntos capturados con el TLS. Además, las actuales estaciones robotizadas, que permiten automatizar la captura de datos y un control externo desde una computadora, abren nuevas posibilidades para optimizar esta fase del trabajo (Mata et al., 2008).

Hay autores que sostienen que la fotogrametría puede ser la mejor opción, ya que como método basado en imágenes proporciona una valiosa información semántica. Las ventajas de los métodos basados en imágenes se refieren a su nivel de detalle, costes bajos o moderados, portabilidad de los equipos (cámaras), fácil manejo en sitios espacialmente restringidos y cortos tiempos de registro, etc. (Cardenal et al, 2004, 2005; Mayer et al, 2004; Kersten, 2006; Mata et al., 2004; El Hakim et al, 2007). Las desventajas se refieren al post-proceso sobre todo cuando la textura de los objetos es pobre y su forma muy complicada.

En relación a los sensores de imagen (cámaras), cada vez es más frecuente el uso generalizado de instrumentación no métrica, tanto por reducción de costes como por sencillez y flexibilidad en la captura de datos. Ello obliga, en el caso de requerir una cierta calidad métrica, a la aplicación de métodos apropiados de calibración de cámaras y lentes (Cardenal et al, 2004). A causa de la inestabilidad inherente al empleo de ópticas con objetivos *zoom*, es preferible el uso de cámaras réflex con objetivos de óptica fija a aquellas cámaras compactas con objetivos *zoom*. Si bien estas últimas, con el empleo de métodos de trabajo adecuados, pueden ofrecer prestaciones muy interesantes.

Por otro lado, no hay duda del potencial de las técnicas láser. Las ventajas de los sensores activos (como es el caso del TLS) se relacionan con su gran capacidad de adquisición de datos espaciales en un corto periodo de tiempo (Allen et al, 2003; Balzani et al, 2005). Los sistemas TLS no sólo capturan información espacial, sino que también pueden adquirir la información radiométrica de los puntos medidos (RGB e intensidad). La gran cantidad de datos (cientos de miles o millones de puntos en sesiones de pocas horas de trabajo de campo) permite la generación de modelos de superficie de gran detalle y fiabilidad. Pero parte de sus desventajas vienen precisamente de su indudable potencia en la captura de datos. La ingente

información adquirida puede ser un problema real a la hora del procesado de los datos. Además, la tecnología TLS no es óptima para la captura de elementos lineales y en general la captura de información tan densa requiere un posterior filtrado y reducción de datos.

Debido a las complejas estructuras de los enclaves y objetos del patrimonio cultural, es frecuente que las simplificaciones asumidas en algunos métodos convencionales de registro en arquitectura y arqueología, tales como paralelismo, perpendicularidad, verticalidad, fuga de líneas o simetría no sean aplicables. Así el registro de tales sitios de interés obliga a la captura de una ingente cantidad de datos por lo que también surge la cuestión de la automatización. Mientras que en fotogrametría clásica implica una enorme cantidad de trabajo de medición y edición manual, a pesar de los avances en los automatismos de las estaciones digitales, la automatización en las aplicaciones patrimoniales del TLS tampoco está plenamente desarrollada. Por consiguiente, en muchos casos no se trata de elegir entre una u otra técnica, sino de integrarlas y aunar las ventajas de todas ellas (Fuchs, 2004; Cardenal et al, 2010).

La combinación de técnicas terrestres y aéreas supone, además, una alternativa interesante en muchos estudios de documentación patrimonial. La posibilidad de elevar los sensores y capturar información que, de otra forma, sería difícil de obtener sólo desde el nivel del suelo aumenta las prestaciones de los métodos. Una opción interesante son las plataformas aéreas controladas desde el suelo o UAV (*unmanned aerial vehicles*; Evaraerts, 2008). Estas plataformas de bajo coste tales como aviones y helicópteros radio-controlados, globos y dirigibles de helio o, incluso, cometas han cobrado una gran importancia en la actualidad (Lambers et al, 2007; Bendea et al, 2007; Gómez-Lahoz y González-Aguilera, 2009; Cardenal et al, 2010).

3. Ejemplos de aplicación. El proyecto IFOTEL

3.1 El proyecto IFOTEL

Conforme a los propósitos anteriormente expresados, este trabajo presenta las ideas y trabajos preliminares del proyecto *Integración de Técnicas de Fotogrametría y Escáner Láser Terrestre para la Documentación Patrimonial* (IFOTEL; Ministerio de Ciencia e Innovación de España, Plan Nacional I+D+i, 2008-2011), con el que se pretende buscar la mejora y optimización de la documentación del patrimonio cultural mediante la combinación de diferentes métodos, especialmente de fotogrametría y técnicas de barrido láser, que aúnén las ventajas de todos ellos minimizando sus inconvenientes. Este proyecto se está desarrollando sobre una serie de aplicaciones diversas en cuanto a naturaleza, complejidad, extensión y escala de trabajo en el entorno de la provincia de Jaén (Andalucía, España). Así, se está trabajando sobre pequeños enclaves de interés prehistórico en abrigos naturales (arte rupestre Neolítico), artefactos y piezas de museo, análisis de marcas de cantería, levantamientos de yacimientos arqueológicos (para la documentación y también el progreso de las excavaciones), en edificios históricos tanto aislados como en su entorno (centros históricos), o en conjuntos monumentales bien delimitados espacialmente y en situación de riesgo o deterioro (castillos y palacios medievales y renacentistas, entre otros). La idea es desarrollar los métodos más óptimos en función del tipo de caso a estudiar, las diferentes posibilidades instrumentales (sistemas láser de corto y largo alcance, instrumentación métrica, cámaras digitales convencionales, sistemas de posicionamiento y orientación de sensores, etc.) y los productos finales requeridos (simples medidas de dimensiones lineales, superficiales o volumétricas; planos de líneas en 2D o 3D; fotografías rectificadas; ortofotografías convencionales o verdaderas –*true-orthos*–; modelos digitales de superficies; modelos 3D; y la integración final de la documentación en una base de datos creada al efecto). Se procurará el desarrollo de metodologías combinadas lo más homogéneas posible que hagan viable el trabajo de documentación independientemente de la escala del objeto. Es decir, desde piezas de museos (escalas grandes) a conjuntos monumentales y su entorno de posible interés paisajístico o natural adicional (escalas medias). De especial interés, además, será el desarrollo de métodos de bajo coste y sencillez para su transferencia a equipos de trabajo no expertos en las técnicas de medición (principalmente arqueólogos y arquitectos).

3.2 Ejemplos de aplicación

Como ejemplos a escala muy grande, se pueden citar aquellos objetos encontrados en excavaciones arqueológicas. En concreto, se dispone de un estudio geométrico de dos figuras de hueso que representan sendos ídolos antropomórficos masculino y femenino. Estas figuras son de edad Calcolítica y proceden del importante yacimiento de Marroquíes Bajos (tercer milenio AEC) ubicado en la misma ciudad de Jaén.

Estas figuras de aproximadamente 12 cm de longitud han sido analizadas mediante fotogrametría digital (con una cámara réflex no métrica) y por técnicas de escáner láser terrestre de corto alcance (Minolta 700 Vi).



Figura 1. Diferentes vistas del modelo 3D del ídolo antropomórfico femenino encontrado en el yacimiento de Marroquines Bajos en Jaén (Edad Calcolítica, tercer milenio AEC). La imagen inferior derecha muestra el TLS de corto alcance empleado (Minolta 700 Vi).



Figura 2. Análisis fotogramétrico del ídolo antropomórfico femenino realizado con una cámara réflex digital no métrica Canon D30. Se muestran las vistas anterior y posterior del ídolo de dos pares estereoscópicos y anáglifos.

Debido a la propia naturaleza de estos objetos, probablemente el modelo 3D sea la salida más apropiada tanto para su análisis geométrico como desde el punto de vista museístico (Mozas et al, 2010). Las figuras 1 y 2 muestran diferentes vistas del modelo 3D del ídolo femenino (generado por el escáner láser) así como imágenes reales adquiridas con la cámara digital.

En las inmediaciones de la ciudad de Jaén también se disponen de ejemplos de otra naturaleza. Se trata de petroglifos y arte rupestre en abrigos rocosos a cielo abierto (figura 3). Debido a problemas de accesibilidad y visibilidad en las zonas de interés, es recomendable el uso de instrumentación ligera, como pueden ser cámaras las cámaras digitales no métricas (tanto réflex como compactas). En general, el escáner láser terrestre o estaciones totales (con medida a sólido) no pueden ser empleados, por lo que el control dimensional del objeto se realiza principalmente mediante medidas con cinta métrica (de suficiente precisión en la mayor parte de los casos). Empleando técnicas adecuadas de calibración, se pueden adquirir modelos digitales de superficie del suficiente detalle y precisión mediante estaciones fotogramétricas digitales convencionales (como por ejemplo, los sistemas *Socet Set®* o *Leica Photogrammetry Suite®* –LPS-, entre otros) o bien de otros sistemas de bajo coste (*Photomodeler®*, *ShapeCapture®*, etc.). En este caso se ha utilizado una cámara compacta de gama alta (Canon G10 de 12

Mp de resolución) previamente calibrada. Los productos de salida en este caso son modelos digitales de superficie de los petroglifos y ortoimágenes (figura 4). En estos ejemplos que se muestran, hay que indicar que se requiere una documentación urgente dado que la preservación de estos importantes yacimientos no está garantizada en absoluto. A modo de ejemplo, el abrigo rocoso donde se localizan las muestras de arte rupestre ilustradas en las figuras 3 y 4 se está empleando en la actualidad como recinto para guardar ganado. Esta situación no es exclusiva en este yacimiento.

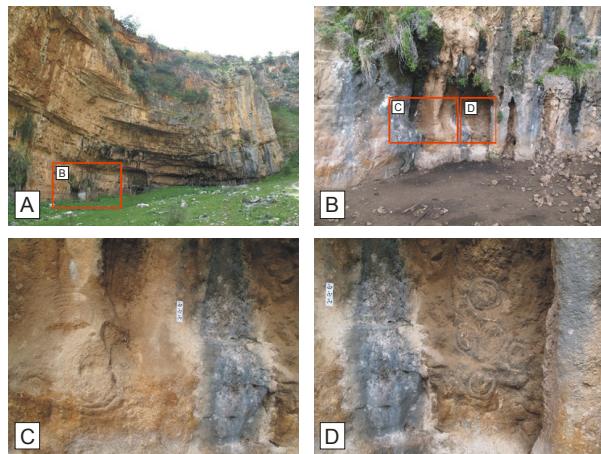


Figura 3. Ejemplo de abrigo rocoso con manifestaciones de arte rupestre –petroglifos- del Neolítico en los alrededores de Jaén.

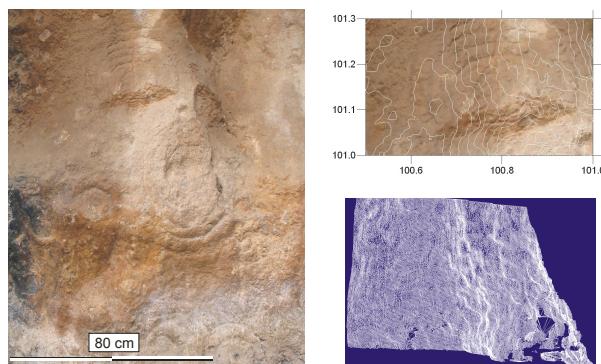


Figura 4. Detalle del petroglifo de la figura 3C. Imagen izquierda: ortofotografía (izquierda) de 2 mm de tamaño de píxel (la proyección de la imagen se ha hecho sobre un plano medio que engloba la superficie del abrigo); Imagen superior derecha: ortofotografía con curvas de nivel (intervalo de 1 cm; imagen inferior derecha: malla triangulada de la superficie del petroglifo).

En efecto, en el entorno peri-urbano de la ciudad de Jaén hay una abundancia de abrigos con arte rupestres (petroglifos y pinturas) ampliamente conocidos y difundidos en los ámbitos científicos. En la actualidad se conocen al menos 16 abrigos con pinturas rupestres catalogados en el inventario del Patrimonio Histórico de la Junta de Andalucía y declarados Bienes de Interés Cultural por la Ley del Patrimonio Histórico Español de 1985, protegidos por lo tanto de manera individualizada y en un entorno de 200 metros en torno a cada uno de ellos. No hay que olvidar que en 1998 la UNESCO declaró las pinturas rupestres del arco mediterráneo de la Península Ibérica como Patrimonio de la Humanidad, un indicador del valor patrimonial de estos conjuntos (*Unesco World Heritage*: <http://whc.unesco.org/en/list/874>). En la actualidad la protección real de estos abrigos es nula y no sólo es habitual que se utilicen como recintos

para resguardar el ganado. Además, varios de estos conjuntos se alzan a menos de 30 metros sobre el lecho del río Eliche, zona que será inundada en caso de ver finalmente la luz un proyecto de construcción de una presa de laminación en el cauce de este río entre los términos municipales de Jaén y Los Villares.

Igualmente, se pueden producir modelos digitales de superficie de gran detalle en el caso de bajorrelieves. Si bien el escáner láser terrestre de distancia cercana permite la obtención de modelos de superficie de gran precisión y detalle, este tipo de instrumentación puede no ser la más óptima para su empleo debido a condiciones de iluminación ambiental inadecuadas, accesibilidad al área de interés, disponibilidad de equipos adecuados o condicionantes económicos. La figura 5 muestra el análisis fotogramétrico de una marca de cantero localizada en un sillar del castillo de Lopera (siglo XIII, provincia de Jaén) hecho con la misma cámara del ejemplo anterior (Canon G10 de 12 Mp).

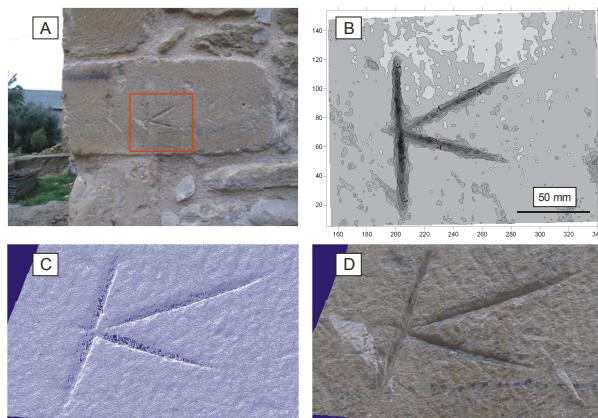


Figura 5. Análisis de marcas de cantero en el castillo de Lopera (siglo XIII, provincia de Jaén). A: marca de cantero; B: modelo digital de superficie con curvas de nivel (intervalo de 1 mm) obtenido por correlación fotogramétrica; C: malla triangulada; D: modelo fotorrealístico.

En cualquier caso, la combinación e integración de las técnicas de escáner láser y la fotogrametría puede mejorar y optimizar la documentación del patrimonio de forma similar a los recientes desarrollos en técnicas cartográficas aéreas mediante la fusión de datos LÍDAR y aquellos procedente de fotogrametría digital. Los sistemas láser y aquellos basados en imágenes pueden ser complementarios y las desventajas de uno se pueden compensar con las ventajas del otro. El escáner láser permite obtener una información espacial de gran densidad y precisión, mientras que la fotogrametría proporciona una valiosa información semántica para optimizar la interpretación, la edición de los datos, permite la combinación de imágenes multiespectrales (si se emplean sensores adecuados) y facilita la obtención de productos de gran distribución y utilidad como son las ortofotografías.

La figura 6 muestra un ejemplo de estudio combinado de escáner láser terrestre y fotogrametría digital de la Iglesia del Convento (siglo XVIII, Montefrío, Granada). Para ello, se ha empleado un sistema láser de largo alcance (Optech Ilris 3D) y una cámara réflex digital Canon D5 (de tamaño completo -36 x 24 mm- y 12 Mp de resolución) equipada con un objetivo de óptica fija de 35 mm. El empleo de una cámara externa al sistema láser, y de mayor resolución a la cámara interna de éste, puede enriquecer la asignación de valores RGB a la nube de puntos láser.

Por otro lado, la generación de ortofotografías se puede ver optimizada considerablemente mediante un modelo de superficie suficientemente detallado. Pero en ejemplos complejos, como habitualmente se encuentran en levantamientos arquitectónicos y arqueológicos, la rectificación diferencial (el procedimiento convencional para la generación de ortofotografías; Novak, 1992) puede llevar a frecuentes e importantes problemas (imágenes dobles, áreas ocultas, arrastres en la imagen, etc.). Una solución a estos problemas es la ortorrectificación verdadera.

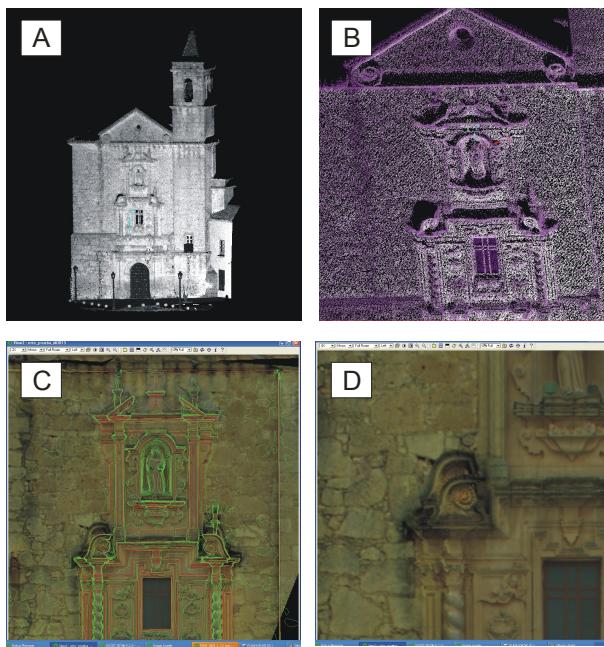


Figura 6. A y B: Levantamiento de escáner láser terrestre en la Iglesia del Convento (siglo XVIII, Montefrío, Granada) con un sistema Optech Iiris 3D; C: Detalle del modelo digital de superficie (líneas verdes) junto con líneas de rotura (líneas rojas, extraídas fotogramétricamente) junto con la ortoimagen de la fachada. D: son visibles errores de imágenes dobles sobre la columna (correctamente ortorrectificada).

La figura 6D también muestra estos problemas en ortofotografías. Para resolverlos mediante una ortofotografía verdadera se requieren imágenes tomadas desde posiciones superiores para así tener texturas apropiadas para establecer los mosaicos correctos en las áreas ocultas. Estos problemas se pueden resolver mediante el uso de mástiles telescopicos, globos y dirigibles de helio o helicópteros dirigidos por radio control con plataformas orientables que permitan la toma de fotografías horizontales u oblicuas.

Finalmente, un último ejemplo sobre un levantamiento en una excavación arqueológica de un yacimiento íbero en Cerrillo Blanco, una necrópolis de los siglos VII-VI AEC en Porcuna, provincia de Jaén. En 1975 en este lugar fue hallado un extraordinario conjunto escultórico, el cual actualmente se encuentra expuesto en el Museo de Jaén y constituye uno de sus signos de identidad (<http://www.juntadeandalucia.es/cultura/museos/MJA/?Ing=es>).

En la actualidad se está llevando a cabo una nueva campaña de excavación, por lo que ha sido necesario realizar un levantamiento fotogramétrico para la cartografía básica del sitio. La metodología aplicada ha sido fotogrametría aérea desde un globo de helio de 2 m de diámetro y una cámara réflex digital (controlada por un mando infrarrojo) suspendida del globo mediante una suspensión estabilizadora tipo Picavet y una plataforma orientable mediante radio control (figura 7).

Se planificó un vuelo consistente en 5 pasadas con solape transversal y se emplearon más de 80 fotografías para generar un modelo digital del terreno, un ortofoto mapa (con un 1cm de tamaño de píxel) y un modelo 3D del sitio (figura 8). Una vez concluya la nueva campaña de excavaciones, se realizará un nuevo levantamiento fotogramétrico para actualizar la cartografía y evaluar los cambios del terreno.

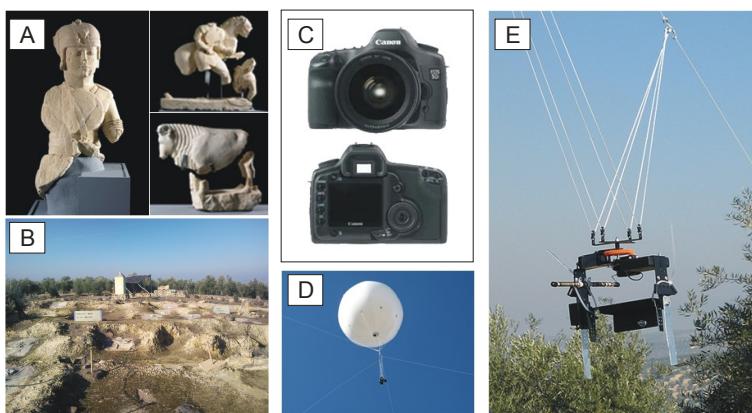


Figura 7. Yacimiento de Cerrillo Blanco (siglos VII-VI ADE; Porcuna, Jaén). A: Muestras del conjunto escultórico encontrado (<http://www.juntadeandalucia.es/cultura/museos/MJA/>); B: Panorámica del estado actual del sitio (previo a la nueva campaña de excavación de 2010); C: Cámara digital SLR Canon D5; D: Globo de helio empleado con la cámara suspendida y cuerdas de amarre; E: Suspensión Picavet y plataforma RC suspendida desde una de las cuerdas de amarre.

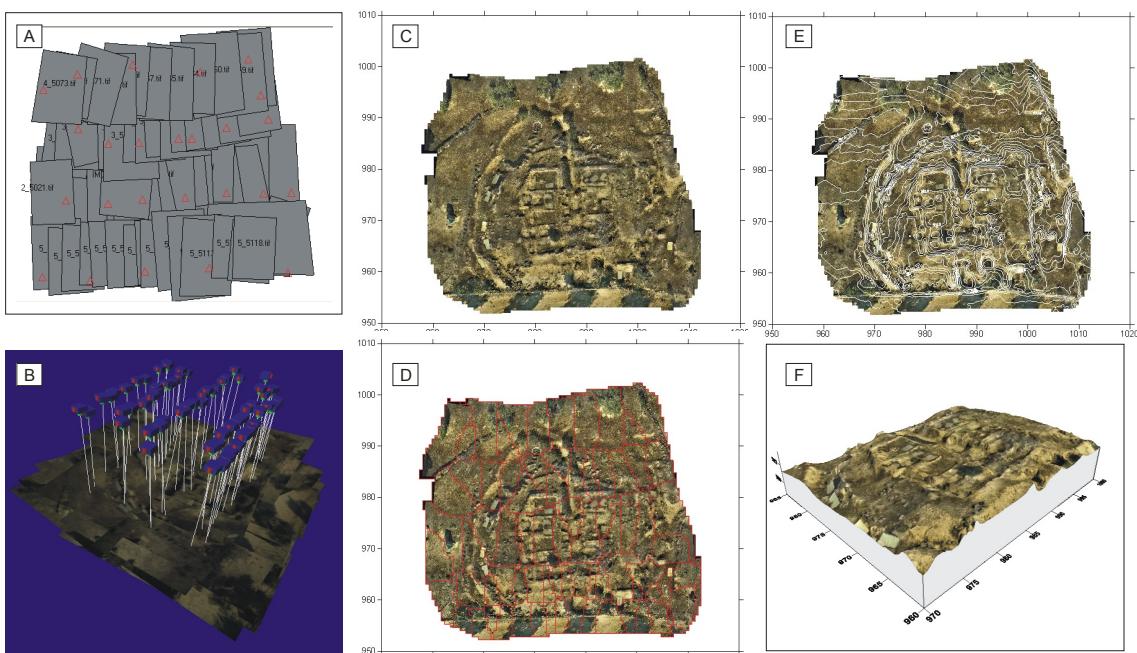


Figura 8. Levantamiento fotogramétrico del yacimiento de Cerrillo Blanco. A y B: Trazas de las imágenes y vista 3D del bloque fotogramétrico de 5 pasadas. C: Ortofotografía de 1 cm de tamaño de píxel cubriendo un área de 50 x 50 m; D: Mosaico de ortoimágenes; E: Ortopomap (20 cm de intervalo de curvas de nivel); F: Modelo 3D del sitio.

4. Conclusiones y trabajo futuro

Como principales objetivos planteados en el proyecto IFOTEL se pueden mencionar la evaluación de las diferentes técnicas de medidas para documentar objetos del patrimonio cultural, así como el desarrollo de protocolos de actuación mediante la integración de dichas técnicas (principalmente fotogrametría y barrido láser) para diferentes contextos habituales en tales trabajos de documentación. Se trata de analizar en

términos de coste/beneficio cuál es el mejor procedimiento de documentación en función de la aplicación concreta.

Para ello habrá que seleccionar las tecnologías y procedimientos adecuados, diseñar el flujo de trabajo correcto y adecuar la calidad métrica del resultado final a unas especificaciones técnicas previamente establecidas en base al problema concreto que se plantee: tipo de objeto y su complejidad, sus dimensiones y la situación espacial, restricciones en el entorno de trabajo, etc. Además, se desarrollarán métodos específicos para aplicaciones sencillas y de bajo coste que puedan ser empleadas por personal no experto, principalmente ligado a la comunidad arqueológica. Adicionalmente, se realizará una integración de los productos 3D generados en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG, o su concepto más amplio de Infraestructura de Datos espaciales (IDE), constituyen sin duda una herramienta cartográfica básica que permiten la integración de información multiescala de procedencia diversa: GPS; fotogrametría y escáner láser; teledetección; digitalización de fuentes cartográficas analógicas; información temática no cartográfica; y también información multimedia.

5. Referencias

- Allen, P.K.; Troccoli, A.; Smith, B.; Murray, S.; Stamos, I.; Leordeanu, M. (2003).** New methods for digital modeling of historic sites. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 26(6), Nov./Dec., pp. 32-41.
- Balzani; Callieri; Caputo; Cignoni; Dellepiane; Montani; Pingi; Ponchio; Scopigno; Tomasi; Uccelli (2005).** Using Multiple Scanning Technologies for the 3d Acquisition of Torcello's Basilica. En: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI, Part 5/W17. TS2.
- Bendea; Chiabrando; Tonolo y Marenchino (2007).** Mapping Of Archaeological Areas Using A Low-Cost UAV The Augusta Bagiennorum Test Site. *XXI International CIPA Symposium*, 01-06 October 2007, Athens, Greece
- Cardenal ; E.Mata; P.Castro; J.Delgado; M.A.Hernández; J.L.Pérez; M.Ramos; M.Torres (2004).** Evaluation of a digital non metric camera (Canon D30) for the photogrammetric recording of historical buildings. *Internacional Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35(B5), 564-569.
- Cardenal J.; Mata E.; Ramos M.; Delgado J.; Hernandez M.A.; Perez J.L.; Castro P.; Torres M. (2005).** Low cost digital photogrammetric techniques for 3D modelization in restoration works. A case study: St. Domingo de Silos' Church (XIVth century, Alcalá la Real, Spain). *Internacional Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volumen XXX ,nº VI-5/C34, 722-727.
- Cardenal, J.; Mata, E.; Pérez-García, J.L.; Mozas, A.; Fernández, T.; Delgado J.; Ureña, M.; Castillo, J.C. (2010).** Integration of photogrammetric and terrestrial laser scanning techniques for heritage documentation. *II International Meeting on Graphic Archaeology and Informatics, Cultural Heritage and Innovation. Arqueologica 2.0*. Sevilla, June 16-19 2010.
- CIPA (2010).** *CIPA_Heritage Documentation: Objectives and Activities*. En: <http://cipa.icomos.org/index.php?id=40> (ultimo acceso: mayo 2010).
- El-Hakim, S.; Gonzo, L.; Voltolini, F.; Girardi, S.; Rizzi, A.; Remondino, F.; Whiting, E. (2007).** Detailed 3D Modelling of Castles. *International Journal of Architectural Computing*, Vol.5(2), pp. 199-220
- Evaraerts, J. (2008).** Unmanned aerial vehicles for photogrammetry and remote sensing. En: *Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information sciences:2008 ISPRS Congress Book*. Eds. Li, Chen y Baltsavias. Cap. 9, 117-126. CRC Press, Taylor and Francis Gr. London.
- Fuchs, A. ; Alby, E.; Begriche, R.; Grussenmeyer, P.; Perrin, J.P. (2004).** Confrontation du relevé laser 3D aux techniques de relevé conventionnelles et développement d'outils numériques pour la restitution architecturale. *Revue de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection* n°173/174 (2004-1/2), pp. 36-47
- Gómez-Lahoz y González-Aguilera (2009).** Recovering traditions in the digital era: the use of blimps for

modelling the archaeological cultural heritage. *Journal of Archaeological Science*, 36 (2009) 100–109.

Kersten, T. (2006). Combination and Comparison of Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the Generation of Virtual Models in Cultural Heritage Applications. *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST* (2006), pp. 207–214.

Lambers, K; Eisenbeiss, H.; Sauerbier, M.; Kupferschmidt, D.; Gaisecker, T.; Sotoodeh, S.; Hanusch, T. (2007). Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru. *Journal of Archaeological Science*, 34, 1702-1712.

Mata, E.; J. Cardenal; P.Castro; J.Delgado; M.A.Hernández; J.L.Pérez; M.Ramos; M.Torres (2004). Digital and analytical photogrammetric recording applied to cultural heritage. A case study: "St.Domingo de Silos' church" (XIVth century, Alcalá la Real, Spain). *Internacional Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volumen 35(B5), 455-460.

Mata, E.; Hernandez, M.A.; Perez-Garcia, J.L.; Cardenal, J. (2008). Low cost automatized system for control points capture in close range photogrammetry. *Internacional Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, B5, 107-110, Beijing, 2008.

Mayer, H.; Mosch, M.; Peipe, J. (2004). 3D model generation and visualization of Wartburg Castle. *ISPRS Int. Workshop on Processing and Visualization Using High-Resolution Imagery*, Vol. (36), PART 5/W1, 18-20 November, Pitsanulok, Thailand.

Mozas, A.; Pérez-García, J.L.; Barba, V.; López-Arenas, A. (2010). Estudio geométrico de piezas arqueológicas a partir de un modelo virtual 3D. *II International Meeting on Graphic Archaeology and Informatics, Cultural Heritage and Innovation. Arqueologica 2.0*. Sevilla, June 16-19 2010.

Novak, K. (1992). Rectification of digital imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 58 (3), pp. 339-344.

Patias, P.; Grussenmeyer, P.; Hanke, K. (2008). Applications in Cultural Heritage Documentation. En:*Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information sciences:2008 ISPRS Congress Book*. Eds. Li, Chen y Baltsavias. Cap. 27, 363-383. CRC Press, Taylor and Francis Gr. London.

UNESCO (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural, París, 1972. *Unesco World Heritage Centre*. <http://whc.unesco.org/?cid=175> (último acceso mayo 2010).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto IFOTEL (TIN-2009-09939) del Ministerio de Ciencia e Innovación y ha sido cofinanciado a través de fondos FEDER y del Grupo de Investigación TEP-213 (PAI Junta de Andalucía).