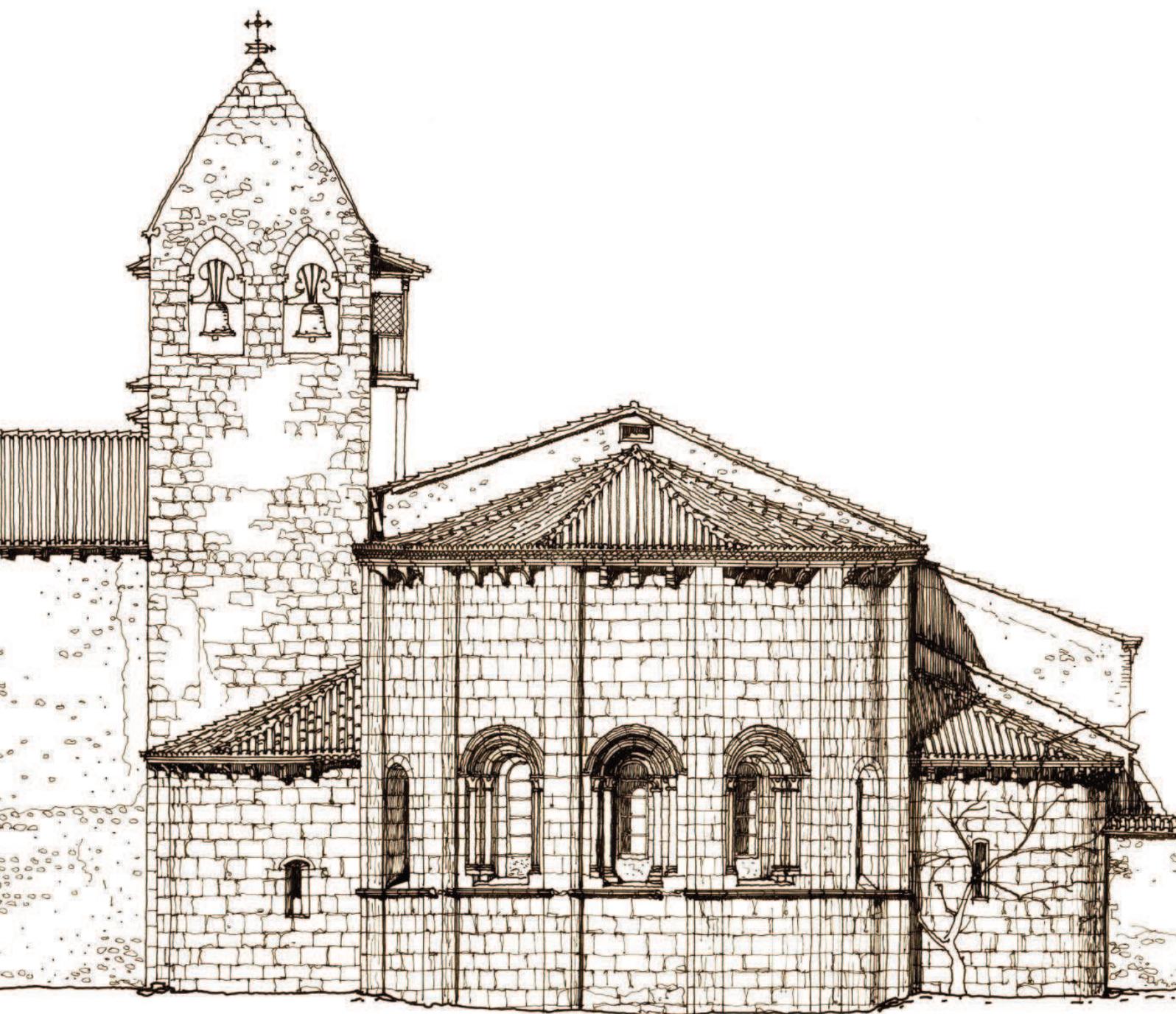


Documentación gráfica del Patrimonio

Ministerio
de Cultura



Documentación gráfica del patrimonio

www.mcu.es

www.060.es

DIRECCIÓN DE LAS JORNADAS

José Manuel Lodeiro Pérez

COORDINACIÓN DE LAS JORNADAS

Jorge Jiménez Rubio

DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN EDITORIAL

María Domingo Fominaya

Antonio J. Sánchez Luengo

CORRECCIÓN DE TEXTOS

Ana Costalago

ILUSTRACIÓN DE PORTADA

Dibujo del Monasterio Cisterciense de Carrizo (León). 1974.

Realizado por José Sandoval Martín



MINISTERIO DE CULTURA

Edita:

© SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

Subdirección General

de Publicaciones, Información y Documentación

© De los textos y las fotografías: sus autores

NIPO: 551-11-006-4

La documentación patrimonial mediante sensores de imagen o de barrido láser

José Luis Lerma

Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Universidad Politécnica de Valencia. gifle@upv.es.

Miriam Cabrelles

Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Universidad Politécnica de Valencia. gifle@upv.es.

Santiago Navarro

Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Universidad Politécnica de Valencia. gifle@upv.es.

Ana Elena Seguí

Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE). Universidad Politécnica de Valencia. gifle@upv.es.

108

Curriculum

José Luis Lerma García, ingeniero técnico topógrafo, doctor ingeniero en Geodesia y Cartografía, es profesor titular de Universidad de la Universidad Politécnica de Valencia. Miembro del comité ejecutivo CIPA (Comité ICOMOS/ISPRS para la documentación del patrimonio cultural). Autor de varios libros de fotogrametría y escaneado láser, ha publicado de manera extensiva en foros y revistas científicas relacionadas con la documentación arquitectónica y arqueológica, me gustaría destacar "Fotogrametría Moderna, analítica y digital". Consultor internacional. Trabaja en la modelización automatizada del Patrimonio.

Resumen

La documentación patrimonial puede realizarse de muy distintas maneras, si bien las cartas de conservación y restauración internacionales recomiendan que se realice de manera precisa y rigurosa. Este artículo repasa las técnicas de documentación

arquitectónico-arqueológica basadas en sensores de imagen y de barrido láser utilizando metodologías fotogramétricas. Se analizarán las distintas posibilidades que brindan los sensores de imagen a partir de una, un par o múltiples fotografías, los escáneres láser terrestres de media distancia o la combinación e integración de múltiples datos, dependiendo de la finalidad del trabajo, de los medios disponibles y de los recursos económicos.

Abstract

The documentation of cultural heritage can be carried out following different approaches. However, international charts for the conservation and restoration recommend rigorous and precise documentation. This paper reports architectural and archaeological documentation photogrammetric techniques based on images and laser scanning. Different approaches will be analysed based on one, a pair or multiples images, midrange terrestrial laser scanners or the combination and integration of multiple data, depending on the aim of the work, available means and the financial resources.

Introducción

La documentación del patrimonio cultural presenta diferentes vertientes, histórica, arquitectónica, arqueológica, métrica, estructural, química, etc. De hecho, la conservación y restauración de monumentos debe recurrir a todas las ciencias y técnicas que pueden contribuir al estudio y salvaguarda del patrimonio (The Venice Charter, 1964: 1).

La documentación gráfica del patrimonio puede abordarse de manera expedita mediante croquis o fotografías en combinación de cinta métrica, calibre o distanciómetro láser, o de manera rigurosa mediante técnicas topográficas y fotogramétricas. Si nos centramos en la componente métrico-topográfica como base y soporte científico de multitud de los estudios analíticos anteriores, presentes o posteriores al proceso de conservación y/o restauración, comprobaremos que en trabajos extensos y rigurosos, predominan los procesos fotogramétricos realizados a partir de imágenes fotográficas, y ya en la última década, mediante barreadores (escáneres) láser. Ello no implica que sólo y exclusivamente se deban realizar las labores de documentación topográfica mediante estas alternativas indirectas, sino que lo normal es que se combinen con procesos de medición directa a partir de cinta métrica, estación total o sistemas de posicionamiento global por satélite (GNSS). La decisión final dependerá de la complejidad y del tamaño del objeto, monumento o sitio (English Heritage, 2007: 3), y de otros aspectos como los requerimientos de coste, el plazo de entrega y el tipo de producto final (Patias, 2006: 4).

La documentación gráfica del patrimonio no es un fin en sí mismo, sino que sirve como medio de transmisión de la información a investigadores, expertos o público en general, que estando interesados en el objeto no pueden investigarlo por sí mismos (Böhler, 2006: 89). Las razones que justifican la transferencia de la información serían las siguientes:

- El objeto, monumento o sitio no es accesible.
- El objeto, monumento o sitio es demasiado grande o complicado para ser examinado de manera global y exhaustiva.
- Reducido horario de visita.
- Lejanía.
- Peligro de deterioro gradual debido a factores ambientales, polución, etc., y sobre todo, deterioro repentino debido a efectos humanos no controlados (actos vandálicos) o desastres naturales.
- Toma acertada de decisiones.
- Archivo y registro de los datos, reflejo del estado de conservación en el momento del levantamiento.

La documentación patrimonial a partir de imágenes fotográficas se remonta a los orígenes de la fotografía a mediados del siglo XVIII. Louis Dégarre anunció el revelado fotográ-

fico en 1839 (Wolf y Dewitt, 2000: 2-3). En 1858, C. Laussedat realizó su primer mapa a partir de fotos aéreas y terrestres. En 1858, A. Meydenbauer tuvo la idea de utilizar fotografías estereoscópicas para documentar edificios (Albertz, 2001: 21-25). Estuvo convencido de que había que documentar los elementos patrimoniales más relevantes de manera que pudieran ser reconstruidos en caso de destrucción. De hecho, su archivo de más de 20.000 placas negativas de vidrio se utilizó para reconstruir edificios en Prusia y otros lugares después de la 2ª Guerra Mundial. En 1893, Meydenbauer anuncia por primera vez la palabra fotogrametría (Lerma, 2002: 33). Posteriormente, vendrían las etapas de la fotogrametría analógica, analítica y digital en sus múltiples versiones: fotogrametría de objeto cercano, fotogrametría terrestre, fotogrametría aérea y fotogrametría satélite.

A partir de la etapa digital a principios de 1990 es cuando comienza paulatinamente a utilizarse la fotogrametría digital en las labores de documentación patrimonial, primero a partir de escaneado de película fotográfica y luego a partir de imagen digital. A finales del siglo XX, la automatización en los procesos de producción fotogramétrica comienza a ser una realidad gracias al avance científico en otros campos como la electrónica, la fotónica, el reconocimiento de patrones y la visión por computador.

La fotogrametría a partir de imágenes, inicialmente fotografías analógicas (que en su formato métrico se denominaban fotogramas), ahora sobre todo imágenes digitales a color o multiespectrales, siempre se ha considerado una técnica de medición precisa, detallada, que proporciona datos tanto en 2D como en 3D de manera efectiva. Las ventajas que reporta las imágenes digitales en el proceso fotogramétrico son:

- Gran cantidad de información, independientemente de la escala, a resolución variable y configurable.
- Extracción de información métrica, muy precisa, sobre todo si los sensores de captura de imagen están bien calibrados.
- Datos en 2D o en 3D, en función de la información existente y del número de imágenes.
- Datos de textura extraídos a partir de las propias imágenes.
- Capacidades de visualización estereoscópica.
- Versatilidad de uso a partir de instrumental relativamente económico, sobre todo en el momento presente.

El poder trabajar con imágenes digitales rectificadas de objetos planos a partir de programas convencionales, o de superficies con relieve no continuas a partir de procesos de ortorrectificación con programas fotogramétricos, abrió las puertas al uso masivo de la fotogrametría digital en labores de documentación patrimonial. Las mayores desventajas de la fotogrametría desaparecieron, según el Prof. Patias (2006),

a raíz de: 1.- uso masivo de instrumental digital; 2.- uso de cámaras digitales convencionales de menor coste y mayor resolución; 3.- programas de fácil manejo y bajo coste aparecidos durante la última década; por último, y no por ello menos importante, 4.- consideración de constreñimientos geométricos que relajan las necesidades y requerimiento de apoyo topográfico.

A principios del siglo XXI el escaneado láser 3D revolucionó la captura automatizada de grandes nubes de puntos, permitiendo su adquisición de manera sistemática, a altas frecuencias (inicialmente cientos o miles de puntos por segundo), en tiempo casi real y junto con valores de intensidad o color asociados (Böhler, 2006: 90-91). El usuario accede directamente a las coordenadas XYZ proporcionadas por el escáner en lugar de a los datos crudos. Además, permite la medición en 3D de superficies complejas en cortos períodos de tiempo. Vale la pena reseñar que a pesar de la alta densidad espacial de puntos que proporciona, las entidades características, tanto lineales (bordes) como puntuales, no se miden directamente sino que deben modelarse a partir de la nube de puntos original.

Los escáneres láser son sensores activos, y pueden operar en entornos diversos que oscilan entre los pocos metros hasta kilómetros utilizando los principios de medición basados en el tiempo (Lerma et alii, 2008: 25-30), bien sea mediante pulsos (tiempo de vuelo) o mediante diferencia de fase. Los escáneres basados en el principio de triangulación están concebidos para operar a distancias mucho mejores, la mayoría a distancias inferiores al metro, con resoluciones y precisiones máximas. Una revisión exhaustiva de estos últimos puede consultarse en Blais (2004).

Los datos métricos pueden utilizarse en todas las etapas del ciclo de conservación, no solo en estudios preliminares en tareas de planificación y evolución, sino también en labores de diagnóstico, tratamiento y monitorización (Santana, Blake y Eppich, 2007: 239-253). Esta última tarea requiere fundamentalmente datos métricos y medidas repetidas en el tiempo que permitan prevenir o alertar de variaciones repentinas.

Este artículo revisa las técnicas fotogramétricas más utilizadas en la documentación patrimonial a día de hoy, desde las más simples, utilizadas para el caso de levantamientos o alzados de objetos planos en general (como es el caso de paramentos, techos y suelos), hasta las más rigurosas, que están optimizadas para modelizar el patrimonio en 3D (como por ejemplo: pórticos de iglesias, catedrales, torres o yacimientos arqueológicos). Se comenzará revisando la documentación patrimonial a partir de imagen digital, para pasar posteriormente al escaneado láser 3D y su integración mediante soluciones fotogramétricas para alcanzar modelados fotorrealísticos 3D de máxima calidad.

Rectificación fotográfica

Se entiende por rectificación fotográfica el proceso que corrige los efectos de perspectiva de una imagen fotográfica. Por tanto, las posibilidades de aplicación de este tipo de productos son ilimitadas en el campo de la documentación, si consideramos que un buen número de elementos arquitectónicos son planos, o pueden descomponerse en planos, por ejemplo en fachadas, paredes, suelos, etc. Además, no requieren equipamiento especial: puede utilizarse cualquier cámara que esté exenta (o corregida) de distorsión óptica del objetivo. Dicha corrección se puede realizar de manera rigurosa a partir de métodos de calibración de cámaras mediante procedimientos multi-imagen (Lerma, 2002: 273-278) o también mediante una sola imagen a partir de líneas rectas o de plomada (Lerma, 2002: 278-280, Lerma y Cabrelles, 2007).

El proceso de rectificación de imágenes digitales se puede abordar de diferentes maneras. De hecho, existen varias alternativas métricas perfectamente útiles en las labores de documentación patrimonial (Almagro, 2008: 62, Lerma y Elwazani, 2006: 330-340; Elwazani y Lerma, 2007a: 47-50; Elwazani y Lerma, 2007b; Lerma, 2010): a) rigurosa a partir de un mínimo de 4 puntos de apoyo por imagen; b) rigurosa con mínima información métrica considerando puntos de fuga; c) de manera visual editando la imagen en programas usuales de tratamiento digital, acompañando el proceso de rectificación con el ajuste de escala en ambos ejes.

La Figura 1 muestra el resultado del proceso de rectificación de una sola imagen, recortada a la zona de interés: los mosaicos de cerámica valenciana. Compruébese cómo se corrigen las fugas existentes en la imagen de entrada tras el proceso de rectificación.

Suele ser usual que el proceso de rectificación requiera múltiples imágenes. Esta situación es bastante común y ocurre cuando: a) el monumento u objeto a representar no abarca el formato completo de la fotografía; b) la composición abarque diferentes objetos; c) el nivel de detalle no sea el apropiado a la escala, resolución o precisión requerida; d) aparecen elementos situados en frente del objeto o monumento. La solución pasa por realizar mosaicos de imágenes previamente rectificadas. Puede consultarse más información sobre rectificación fotográfica y formación de mosaicos, particularizados para escenarios exteriores con un solo edificio en (Lerma y Elwazani, 2006: 330-340), trozos de murallas (Almagro, 2008: 62), calles enteras en cascos urbanos (Elwazani y Lerma, 2007a: 47-50; Elwazani y Lerma, 2007b), o para reconstrucciones 3D de interiores de salas interiores como la expuesta en la Figura 1 (Lerma, 2010).

Las rectificaciones o mosaicos obtenidos están listos para ser integrados en eventuales bases de datos, sistemas de infor-



Fig. 1 Sala de la Estación del Norte de Valencia (Feb. 2004). a) Fotografía utilizada en la rectificación; b) Detalle principal corregido de distorsiones. Fotografía: José Luis Lerma García.

mación arquitectónica/arqueológica o en sistemas de dibujo (CAD). Además, son imágenes con carácter métrico: se puede delinear o restituir en formato vectorial sobre la propia imagen. De esta manera, también pueden obtenerse planimetrías o alzados de precisión a partir de mediciones monoscópicas.

La rectificación fotográfica es un proceso rápido y económico. Sin embargo, solo es adecuado en monumentos u objetos que presentan superficies planas. Por tanto, no sería un producto apropiado a la hora de realizar representaciones de superficies o paramentos con fuerte orografía, discontinuidades y diversos niveles de profundidad. En dichos casos, se recomienda cualquiera de las alternativas siguientes: soluciones fotogramétricas a partir de pares de imágenes, múltiples imágenes (procedimiento automatizado), láser escáner o integración de imagen y láser.

Fotogrametría a partir de pares de imágenes

La fotogrametría clásica fundamentalmente se basa en el principio de la visión estereoscópica, por medio del cual, el operador fotogramétrico restituye (delinea en 3D) pares de imágenes con recubrimiento (solape) previamente orientadas. Lo usual es trabajar con pares de imágenes capturadas con cámaras calibradas. Los productos finales son representaciones gráficas 3D que finalmente se representan por medio de dibujos de plantas, alzados, plantas y secciones, en formato vectorial.

La orientación de los pares estereoscópicos se puede realizar a partir de puntos de apoyo topográficos sobre el modelo, o bien a partir de simples referencias observadas en el propio objeto, como pueden ser la asignación de planos verticales y horizontales, medición de distancias, etc. (Almagro, 2008: 58-62). Esta segunda alternativa brinda menores precisiones que la opción rigurosa por medio de puntos de apoyo debido a la peor distribución geométrica de las referencias.

La fotogrametría clásica de pares de imágenes, basada en la medición manual y el dibujo artístico, exige una labor de interpretación, análisis y síntesis de lo que finalmente se representa. La desventaja del método radica en el coste temporal de la medición manual, la dificultad técnica encontrada por el personal no experto y fundamentalmente en la subjetividad del operador de restitución a la hora de representar el dibujo.

Existen escuelas que defienden la solución de la fotogrametría arquitectónica en su vertiente clásica frente a la incorporación imparables de las últimas tecnologías de escaneado láser (Almagro y Almagro-Vidal, 2007: 52-57). Entre otras desventajas se apuntan dos aspectos: por un lado, la forma tradicional de interpretar y asimilar la información a partir de planos; por otro, la asignación de las labores de interpretación al usuario final, generalmente conservador, arquitecto, etc.

La incorporación y aceptación de productos derivados a partir de procedimientos automatizados que generan nubes de puntos en 3D, bien sea a partir de procedimientos basados en imágenes o en escaneado láser, pasa por un cambio de mentalidad en el planteamiento de los modos de representación, y la existencia universal de herramientas informáticas sencillas que con ordenadores estándar permitan extraer la información esencial del levantamiento a partir de datos capturados automáticamente.

Fotogrametría a partir de múltiples imágenes

Sin lugar a dudas, la solución fotogramétrica más precisa, potente y robusta pasa por el ajuste en bloque de múltiples imágenes, ya que puede adaptarse a cualquier tipo de cámara (métrica, semimétrica y convencional), indistintamente del formato. No existen restricciones en cuanto a la geometría del objeto, monumento o sitio. Además, si la cámara no está calibrada, la calibración de la misma puede realizarse simultáneamente al proceso de orientación externa de las imágenes (Lerma, 2002: 277-278).

Una vez orientadas espacialmente las imágenes, la generación de modelos digitales de superficie es posible aplicando técnicas automáticas de detección de entidades homólogas (Cabrelles et alii, 2010). Tras un proceso de filtrado y eliminación de puntos erróneos, es posible generar un modelo digital adaptado a la nube de puntos, así como texturizar a alta resolución el modelo a partir del contenido de información de color existente en las imágenes originales. De esta manera se obtienen modelos fotorrealísticos 3D de máxima calidad. La descripción del procedimiento fotogramétrico seguido se encuentra publicado en (Lerma et alii, 2010: 499-507). Un ejemplo de aplicación de esta metodología aparece reflejado en la Figura 2.

El uso simultáneo de múltiples imágenes aporta ventajas adicionales al uso de pares estereoscópicos: primero, proporcióna redundancias y mayor fiabilidad a la solución final; segundo, permite detectar errores groseros; tercero, facilita la automatización de procesos; cuarto, permite homogeneizar la textura del modelo fotorrealístico resultante; y quinto, evita zonas con sombras u oclusiones.

Escáner láser terrestre

A día de hoy, existe una gran cantidad de escáneres láser terrestre en el mercado. Las dimensiones y el peso de los equipos comienzan a reducirse sustancialmente; el coste de los equipos va paulatinamente descendiendo, si bien es verdad que todavía continúan siendo elevados. No obstante, la rentabilidad de un



Fig. 2a Djinn Block Número 9 en el Parque Arqueológico de Petra (Jordania). Foto del Djinn Block a dos caras. Copyright: GIFLE.



Fig. 2d Djinn Block Número 9 en el Parque Arqueológico de Petra (Jordania). Detalle de modelo fotorrealístico 3D. Copyright: GIFLE.

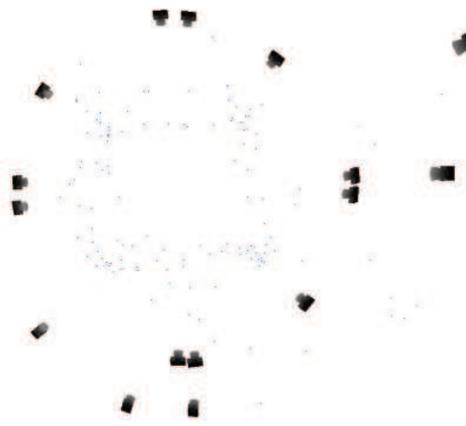


Fig. 2b Djinn Block Número 9 en el Parque Arqueológico de Petra (Jordania). Fotos orientadas alrededor del Djinn Block. Copyright: GIFLE.



Fig. 2e Djinn Block Número 9 en el Parque Arqueológico de Petra (Jordania). Vista en perspectiva del modelo fotorrealístico. Copyright: GIFLE.



Fig. 2c Djinn Block Número 9 en el Parque Arqueológico de Petra (Jordania). Vista en perspectiva de la nube de puntos a color. Copyright: GIFLE.

equipo depende del uso, y en segmentos como mediciones industriales, tuberías, túneles, canteras, etc. su rentabilidad está más que garantizada, sobre todo si se desea extraer máxima información 3D en intervalos reducidos de tiempo.

La aplicación del escáner láser terrestre de media distancia se utiliza cada día más en labores de documentación patrimonial. Su uso está justificado en proyectos de levantamiento fotogramétrico en donde las dimensiones son grandes y sobre todo con geometría compleja tipo retablos, bóvedas, puertas (románicas, góticas, renacentistas...), esculturas, medallones, yacimientos arqueológicos, etc. Ello no quiere decir que sólo esta tecnología sea óptima, pero sí que se debe tener en cuenta, fundamentalmente si no se dispone de procedimientos fotogramétricos automatizados a partir de múltiples imágenes (Petti et alii, 2008: 303-315).

La Figura 3 muestra el resultado obtenido para el mismo caso de estudio de la Fig. 2, utilizando únicamente un láser escáner terrestre de media distancia. En concreto, se utilizó un equipo de media distancia panorámico (360° x 60°) basado en el tiempo de vuelo, modelo MENSI GS100. Mide 5.000 puntos por segundo, y presenta una desviación estándar de 6 mm. a los 100 m.

La diferencia de la alternativa basada en imágenes frente a la alternativa basada en el barredor láser, una vez filtrados y registrados los datos de entrada, se muestra en la Figura 4. Para el caso de la fachada sur, obtenemos que en un 40.9% de los casos, las discrepancias están del orden de la precisión (desviación estándar) del escáner. Si consideramos los errores máximos, 2-2.5 cm, el 4,02 % estaría en el intervalo positivo y el 4.62% en el intervalo negativo. Además, se comprueba que no existen errores sistemáticos aparentes entre ambas soluciones. Por tanto, en este caso de estudio los resultados finales de la alternativa láser frente a los de la alternativa multi-imagen se pueden considerar equivalentes.

Integración de escaneado láser e imágenes

El modelo 3D aporta información volumétrica esencial en tareas de monitorización y análisis de deterioros. Sin embargo, los modelos 3D pueden enriquecerse mucho más si el texturizado de los mismos se realiza de manera

rigurosa, analizando la mejor proyección de textura, eliminando sombras y equilibrando los colores. La solución fotogramétrica en estos casos es una garantía frente a alternativas de estiramiento de imágenes sobre los modelos. Puede comprobarse la diferencia de texturizado entre ambas alternativas, aproximada y rigurosa, en Biosca et alii (2007).

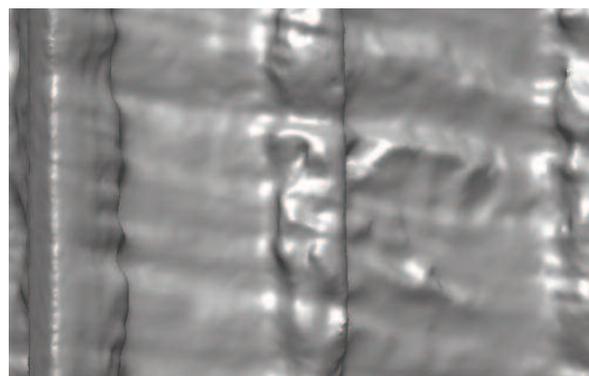


Fig. 3b Djin Block Número 9: Detalle del modelo 3D. Copyright: GIFLE.

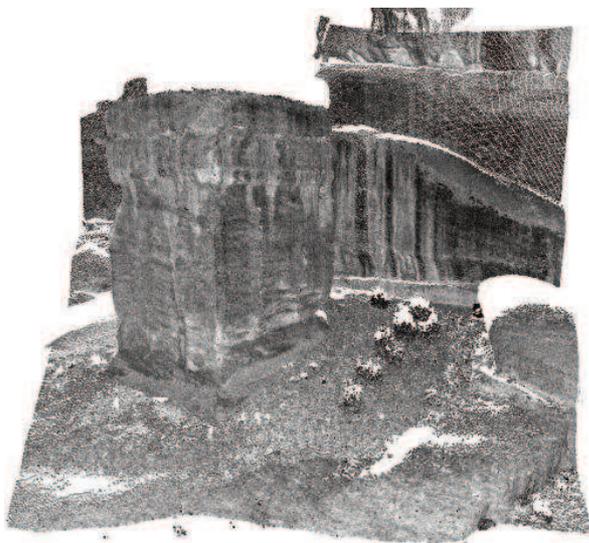


Fig. 3a Djin Block Número 9: Vista en perspectiva de la nube de puntos con intensidad del láser. Copyright: GIFLE.



Fig. 3c Djin Block Número 9: Vista en perspectiva del modelo 3D. Copyright: GIFLE.

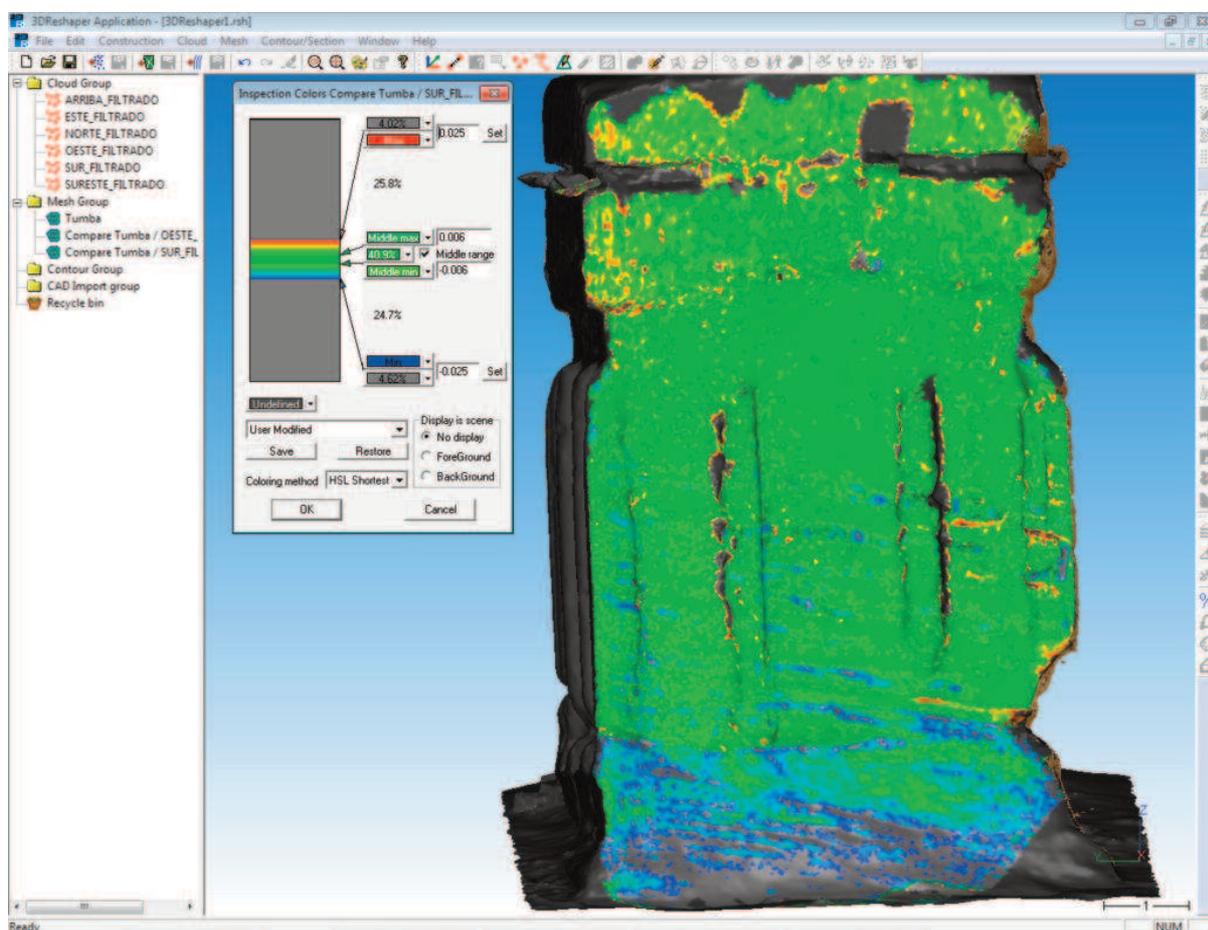


Fig. 4 Diferencia entre modelos provenientes de escaneado láser y de fotogrametría multi-imagen en dirección ortogonal a la fachada. Fachada sur Djin Block Número 9. Copyright: GIFLE.

A día de hoy uno de los procedimientos más recomendables para obtener modelos fotorrealísticos 3D integrando láser escáner terrestre y múltiples imágenes aparece descrito en Lerma et alii (2010). En dicho artículo se explota al máximo el potencial del escáner láser para derivar modelos y la fotogrametría multi-imagen para texturizar sobre éstos. No obstante, a día de hoy es posible y recomendable combinar ambas metodologías para lograr optimizar levantamientos utilizando procedimientos de multi-resolución y multi-escala: en algunos monumentos, sitios u objetos se utilizará solo una tecnología, en otros otra, y por lo general, ambas de manera integrada. Gracias a que cada proyecto o misión es diferente, la tecnología apuntada en este artículo está lista para ser integrada (junto con otras alternativas topográficas, por ejemplo GNSS) en SIGs arquitectónico-arqueológicos, sistemas CAD o aplicaciones web.

Conclusiones

La documentación del patrimonio es una labor que ha venido desarrollándose satisfactoriamente a lo largo del tiempo mediante soluciones fotogramétricas. A día de hoy existen alternativas monoscópicas, estereoscópicas, multi-imagen y de barrido láser que pueden y deben ser consideradas en las labores de documentación gráfica del patrimonio. Unas requieren escasos desembolsos económicos iniciales; otras no. Sin embargo, unas no delegan a las otras sino que más bien se complementan.

Este artículo muestra los resultados alcanzados en los últimos años utilizando tecnología eminentemente digital. Nunca hay que perder de vista el objetivo, la misión del levantamiento y los recursos económicos disponibles, y eso exige máxima comunicación y diálogo entre los gestores patrimoniales y los técnicos en levantamientos fotogramétricos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido por parte de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) al proyecto A/025999/09, así como la colaboración establecida con los socios jordanos Dr. T. Akasheh y Dr. N. Haddad.

Bibliografía

ALBERTZ, J. (2001): Albrecht Meydenbauer – Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage, Proceedings 18th International Symposium CIPA 2001, Potsdam, Germany, 21-25.

ALMAGRO, A. (2008): “La puerta califal del castillo de Gormaz”, *Arqueología de la Arquitectura*, 5: 55-77.

ALMAGRO, A. y ALMAGRO-VIDAL, A. (2007): “Traditional Drawings versus New Representation Techniques”, CIPA 2007 XXI International Symposium, Atenas (Grecia), International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-5/C53: 52-57, <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FP011.pdf>> [11 de noviembre de 2010].

BIOSCA TARONGER, J. M.; NAVARRO TARÍN, S. y LERMA GARCÍA, J. L. (2007): “Modelado tridimensional de una bóveda barroca mediante la combinación de láser escáner y fotogrametría”, 7ª Setmana Geomàtica, Barcelona, Spain, <<http://jllerma.webs.upv.es/pap021.pdf>> [11 de noviembre de 2010].

BLAIS, F. (2004): “Review of 20 Years of Range Sensor Development”, *Journal of Electronic Imaging*, 13(1): 231-240.

BÖHLER, W. (2006): “Comparison of 3D laser scanning and other 3D measurement techniques”, en Baltsavias, E., Gruen, A., Van Gool, L., Pateraki, M. (Eds.) *Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage*, Taylor & Francis Group, London, 89-99.

CABRELLES, M., SEGUÍ, A. E., NAVARRO, S., GALCERÁ, S., PORTALÉS, C. y LERMA, J. L. (2010): “3D Photorealistic Modelling of Stone Monuments by Dense Image Matching”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 5: 121-124.

ELWAZANI, S. y LERMA, J. L. (2007a): “RECORDING FOR URBAN PLANNING: A CASE FROM MANAMA, BAH-

RAIN”, CIPA 2007 XXI International Symposium, Atenas (Grecia), *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI-5/C53: 293-296, <<http://cipa.icomos.org/text%20files/ATHENS/FP057.pdf>> [11 de noviembre de 2010].

ELWAZANI, S. y LERMA, J. L. (2007b): “Recording Streetscapes”, Eppich, R. y Chabbi, A. (eds.) *Recording, Documenting and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, The Getty Conservation Institute. *Illustrated Examples*, Los Ángeles (USA): 45-52. <http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/illustrated_examples3.pdf>, [11 de noviembre de 2010].

ENGLISH HERITAGE (2007): “3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture”, *English Heritage*, 1-44.

LERMA GARCÍA, J. L. (2002): *Fotogrametría moderna: analítica y Digital*, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. LERMA, J. L. (2010): “Heritage Recording Using Image-Based Techniques”, Ioannides, M., Alonzo, A., Georgopoulos, A., Kalisperis, L., Brown, A. y Pitzalis, D. (eds.) *Heritage in the Digital Era*, Multi-Science Publishing.

LERMA, J. L. y CABRELLES, M. (2007): “A Review and Analyses of Plumb-Line Calibration”, *The Photogrammetric Record*, 22(118): 135-150.

LERMA, J. L. y ELWAZANI, S. A. (2006): “Digital Rectified Imagery: A Survey Method for Design and Conservation Projects”, Second International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2006), Proceedings of ASCAAD 2006 Conference, Sharjah (Emiratos Árabes Unidos): 330-340.

LERMA, J. L.; NAVARRO, S.; CABRELLES, M. y VILLAVERDE, V. (2010): “Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study”, *Journal of Archaeological Science*, 37: 499-507.

LERMA, J. L., VAN GENECHTEN, B., HEINE, E. y SANTANA, M. (2008): *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre. Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas*. Proyecto Leonardo da Vinci 3DRiskMapping.

PATIAS, P. (2006): “Cultural Heritage Documentation”, International Summer School Digital Recording and 3D Modeling, Aghios Nikolaos, Creta, Grecia, Abril 24-29, 1-26.

PETTI, F. M.; AVANZINI, M.; BELVEDERE, M.; DE GASPERI, M.; FERRETTI, P.; GIRARDI, S.; REMONDINO, F. y TOMASONI, R. (2008): "Digital 3D modelling of dinosaur footprints by photogrammetry and laser scanning techniques: integrated approach at the Coste dell'Anglone tracksite (Lower Jurassic, Southern Alps, Northern Italy)", *Acta Geol.*, 83: 303-315.

Santana Quintero, M., Blake, B. y Eppich, R. (2007): "Conservation of Architectural Heritage: The Role of Digital Documentation Tools: The Need for appropriate teaching material", *International Journal of Architectural Computing*, 2(5): 239-253.

THE VENICE CHARTER (1964): «International Charter for the Conservation and restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964)», 2nd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1-4 <http://www.international.icomos.org/charters/venice_e.pdf>, [9 de noviembre de 2010].

WOLF, P. R. y DEWITT, B. A. (2000): *Elements of photogrammetry with applications in GIS*, McGraw-Hill, Boston.