

Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística*

José L. Caro (jlcaro@uma.es)
Dpto. Lenguajes y Ciencias de la Computación
Universidad de Málaga

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo presentar la técnica fotogramétrica para la difusión del patrimonio mueble e inmueble y su aplicación a la promoción turística. El uso de esta técnica hace posible generar modelos 3D muy fiables sin la necesidad de usar herramientas caras como el escáner láser (LiDAR) o el modelado con software de 3D. La técnica permite, a partir de un conjunto de fotografías detalladas, desarrollar un modelo 3D de la realidad. En nuestro caso de estudio, y teniendo como origen un conjunto de fotografías, se aplicarán algoritmos de posicionamiento de cámaras, generación de nube de puntos, generación de malla 3D y generación de texturas, los cuales producirán modelos 3D con un resultado absolutamente realista.

Las técnicas fotogramétricas, por tanto, generan un modelo muy realista de los objetos. Estos modelos texturizados pueden ser empleados, tanto para la generación de video como para su publicación en web, pasando por sistemas de realidad aumentada o aplicados a la documentación de material con un detalle fotográfico al que se le añade una nueva dimensión. Estos modelos, cuando hablamos de difusión del patrimonio y su aplicación en el ámbito del turismo, son directamente aplicables siempre que podamos facilitarlos en formatos que impliquen la máxima compatibilidad y facilidad para el usuario final. En este artículo, como caso de estudio aplicado al turismo se propone la inclusión de dichos modelos generados en U3D (Universal 3D) incrustados en documentos PDF (recordemos que es un estándar de facto) para su uso en documentación accesible a través de Internet como pueden ser folletos informativos digitales (trípticos, cuadrípticos, o publicidad general).

Keywords: modelado 3D, fotogrametría, patrimonio, difusión.

1. Introducción

El interés por la generación de modelos 3D se ha incrementado en los últimos años. Esto es debido a las grandes posibilidades que ofrecen los equipos informáticos tanto de sobremesa

*IX Congreso Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TuriTec'2012) - Málaga, 25 y 26 de octubre de 2012 - ISBN 978-84-615-9946-2

sa/portátiles como, y este es el gran avance, en los dispositivos móviles (incluidas *tablets*). Hoy en día, permiten ejecutar aplicaciones que contienen gráficos y animaciones 3D, así como aplicaciones de realidad aumentada en las que podemos ejecutar dichos modelos con gran fluidez y realismo.

El ámbito del turismo no escapa al uso de modelos tridimensionales. Éstos aumentan el realismo y facilitan las labores de visualización e incluso de interpretación de una realidad que antes de iniciar un viaje está alejada y muchas veces no es conocida. La aplicación y uso de modelos 3D orientados al turista está a la orden del día. Se encuentran gran cantidad de ejemplos que hoy en día son ya cotidianos para el turista. Son conocidas las soluciones de mapas como la de Google¹ con su producto GoogleEarth² o su integración en la web con Google Maps³ mediante la experiencia MapsGL para la generación de modelos 3D de edificios singulares a la que recientemente se han unido los mapas de Apple. En lo que refiere al modelado del terreno y generación de rutas encontramos un claro ejemplo en el *Camino de Santiago 2.0 - Camino Francés* (Instituto Geográfico Nacional, 2011) que posee modelados 3D del terreno e información para el turista tanto a través de web como en aplicaciones para iOS en iTunes y Android en Google Play. En bienes patrimonio mueble nos encontramos con gran cantidad de iniciativas como el portal Museo3D⁴. En inmueble tampoco nos quedamos atrás como puede ser el caso de Altair4 s.l.r. (Altair4 multimedia srl, 2011) la cual ha diseñado una aplicación de realidad aumentada para iOS *Rome MVR Time Window* dirigida a *Travel/Exploration* que, a partir de modelos 3D, proporciona información arqueológica *in-situ* en Roma (zona del Coliseo). Incluso en el ámbito de la fotogrametría encontramos el proyecto *Photo tourism* (Snavely, Seitz, & Szeliski, 2006) que realiza reconstrucciones 3D a partir de fotografías tomadas por turistas y recogidas en Google Picassa o flickr.

La aplicación del modelado 3D para la difusión de puntos y elementos de interés turístico es un tema, por tanto, que está a la orden del día tanto de forma directa (aplicaciones dedicadas y diseñadas para el turista) como indirecta (usando aplicaciones generales en las que los turistas encuentran utilidad). Por otro lado, la generación de modelos 3D y el uso de los mismos en aplicaciones de realidad aumentada proporcionan una nueva perspectiva y posibilidades de interacción que aumentan la experiencia del turista en los destinos.

La fotogrametría es una técnica que va a permitir generar modelos 3D con dos ventajas:

- un coste menor que el propio modelado 3D con herramientas del tipo 3DStudio MAX, Autocad, Blender, . . . o el uso de escáneres láser.
- la posibilidad de alcanzar un gran realismo ya que la texturización se realiza con fotografías y, por tanto, obtenemos el modelo directamente (usando algoritmos) de la fotografía digital.

El objetivo de este artículo es presentar la potencia de las técnicas fotogramétricas en la difusión y promoción turística del patrimonio. Así, esta técnica se mostrará útil para la generación de modelos 3D que enriquecen la información turística tanto en la web como en los mismos

¹Google: <http://www.google.com/>

²<http://earth.google.com/>

³Google Maps <http://maps.google.com/>

⁴<http://www.museo3d.faico.org/Home/Museo3D>

documentos o folletos informativos. Como caso de estudio se ha elaborado el modelo 3D de la fuente de la calle Los Cristos (Málaga) para su inclusión en un folleto digital que albergará dicho modelo 3D (uno general y otro en detalle).

Este modelo mostrará el monumento al turista aunando las ventajas expuestas anteriormente: relativo bajo coste y gran realismo. A estas dos le tenemos que unir uno de los objetivos de este artículo: la interoperabilidad. En muchas ocasiones nos encontramos con sistemas 3D que nos exigen máquinas muy potentes o la instalación de incómodos *plugins*. Por esta razón, se usará un estándar U3D *Universal 3D*, formato que nos permite la inclusión de la información 3D en formato PDF (*Adobe Portable Document Format*).

El artículo queda estructurado de la siguiente forma. En la sección 2 introduciremos los conceptos esenciales de fotogrametría y algunos ejemplos de su uso en el ámbito de la difusión del patrimonio. En la sección 3 desarrollaremos nuestro caso de estudio y experiencia práctica: el modelo de la fuente de la calle de Los Cristos de la que expondremos sus resultados en un modelo adaptable para incluir en un folleto de información turística en PDF (sección 4). Finalizaremos con unas conclusiones en la sección 5⁵ y las correspondientes referencias bibliográficas.

2. Fotogrametría: una posibilidad más de documentación y promoción turística

La fotogrametría es una técnica que permite realizar medidas 3D y obtener volúmenes a partir de fotografías. Esta técnica (la denominada fotogrametría aérea) ha sido tradicionalmente empleada en la creación de mapas y su correspondiente levantamiento en 3D usando modelos digitales del terreno (DEM – *Digital Elevation Model*). Sin embargo, hoy en día, el aumento de potencia de sistemas y la mejora en los algoritmos de reconocimiento de patrones en imágenes digitales ha hecho posible que esta técnica se incorpore con más fuerza para la generación de modelos tridimensionales. Esta última posibilidad es la que se conoce como fotogrametría de alcance corto (*close-range photogrammetry*).

Las técnicas fotogramétricas, en lo que refiere a sus bases matemáticas, son conocidas hace bastante tiempo, siendo empleadas en vuelos aéreos, reconstrucciones de paisaje, etc. Se fundamentan en la toma de proyecciones de la realidad (fotografías) desde dos perspectivas a partir de las cuales se podía realizar una composición que proporcionaba (en su día) una visión cuasi-tridimensional. Pero esto no es un modelo 3D real procesable. Actualmente, usando la fotografía digital podemos calcular una estimación de la posición de la cámara respecto al objeto real y obtener, mediante transformaciones matemáticas, la posición relativa de sus puntos en un sistema 3D (Longuet-Higgins, 1981). Es más, incluso desde un sistema de imágenes digitales tomadas con una cámara y objetivos no calibrados, es posible, siempre que mantengamos los mismos parámetros en la toma fotográfica, reconstruir un modelo 3D con muchas garantías. Este modelo generado, si bien no posee medidas reales, si posee medidas relativas que pueden ser transformadas a medidas reales e incluso ser geoposicionadas usando marcas de apoyo en tierra (*ground control*). Esta técnica nos proporciona, por tanto, un modelo de la realidad en forma de puntos y polígonos, que posteriormente podemos escalar para conseguir una malla completa (Mohr, Quan,

⁵En el apéndice se encuentran incrustados los modelos de la fuente de calle Los Cristos.

& Veillon, 1995).

El aumento de la potencia de cálculo de procesadores (con varios núcleos) y, sobre todo, de las GPU (*Graphics Processing Unit*) de las tarjetas gráficas de ordenadores⁶ ha hecho posible que hoy en día proliferen soluciones relativamente baratas para implementar reconstrucciones 3D a partir de un conjunto de fotografías estratégicamente tomadas. Con esto no queremos desdeñar tecnologías como LiDAR (*Light Detection And Ranging*) que, junto al amplio abanico de escáneres, pueden generar una nube de puntos de altísima calidad y precisión siendo empleados, tanto en entornos cerrados y patrimonio mueble, como en la reconstrucción de paisajes. Un buen ejemplo de reconstrucción del paisaje lo encontramos en el entorno de Stonehenge realizado por Wessex Archaeology (Wessex Archaeology, 2007).

La técnica fotogramétrica, por tanto, ya está siendo usada para la documentación desde un punto de vista científico del patrimonio arqueológico, histórico y artístico (Wang & Ahmad, 2002) siendo una competencia a técnicas más caras (Habib, Ghanma, Al-Ruzouq, & Kim, 2004) y pudiéndose usar para sistemas de realidad aumentada (Portalés, Lerma, & Pérez, 2009). Por ejemplo, para una reconstrucción basada en LiDAR necesitaríamos el equipamiento láser. En cambio, usando técnicas fotogramétricas solo son necesarias las fotos de una cámara digital y, en su caso, algún sistema de georreferenciación. Esta técnica actualmente está comenzando a gozar de aceptación, tanto para la difusión en medios digitales del patrimonio, como en la documentación de yacimientos arqueológicos puesto que nos ofrece una fotografía aumentada en su dimensión para ser usada como textura en los modelos generados mediante fotogrametría. Ejemplos interesantes de esta aplicación la encontramos en importantes yacimientos como Çatal Höyük (Hadow, 2012) o Perdigões (Suárez, Caro, Márquez, Mata, & Jiménez, 2012). En este último se han conseguido importantes resultados en excavaciones en extensión complementando las técnicas de documentación y con unos resultados excelentes de cara a su documentación y difusión.

2.1. Principios y software para fotogrametría

El funcionamiento del software fotogramétrico ha aumentado de complejidad a lo largo de los años. Inicialmente, para la fotogrametría aérea, se usaron modelos estereográficos (a partir de 2 fotografías) orientados a la cartografía fundamentalmente. Actualmente es posible y es deseable usar más de dos fotografías para reconocer un mismo patrón y modelar incluso el terreno. Para cada punto que se va a modelar o que debe ser detectado mediante los algoritmos de reconocimiento de patrones deberán existir al menos 2 cámaras (en el sentido de posicionamiento / toma fotográfica) que lo intersecten (figura 1)⁷. Cuantas más cámaras mejor, pero debemos tener en cuenta que o ayudamos a los algoritmos de reconocimiento de patrones o un número alto de fotografías en detalle de texturas muy similares pueden producirnos resultados poco deseables.

Para realizar estas tareas existen diversidad de algoritmos basados en esta idea. Una de las bases para la construcción de el software fotogramétrico actual lo tenemos en el algoritmo SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) propuesto por primera vez en 1.999 (Lowe, 1999) para la detección de puntos homólogos entre 2 fotografías que fue mejorado posteriormente (Lowe, 2004)

⁶Incluso personales.

⁷Basada en <http://www.photogrammetry-software.com/> y <http://www.agisoft.ru/>

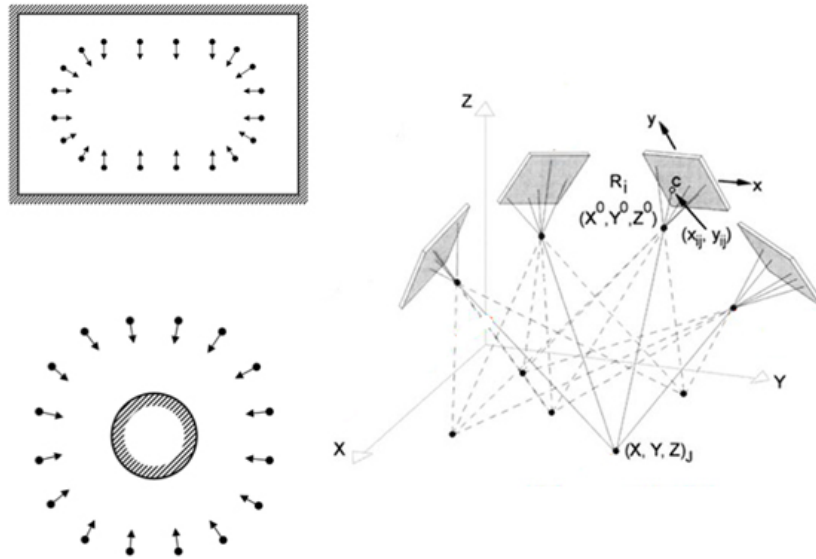


Figura 1: Toma fotográfica para una fotogrametría

e implementado en gran cantidad de sistemas (con sus correspondientes variantes). Existen otros algoritmos para la generación de la nube de puntos que son discutidos en (Mikolajczyk et al., 2005). Asimismo se usan algoritmos de orientación y reajuste o generación de pares de fotos como RANSAC (Fischler & Bolles, 1987) de las cámaras que complementan estos algoritmos mejorando los resultados para la generación de una malla 3D (Wan, Zhang, & Wan, 2012).

Existen diversas implementaciones de estos algoritmos y su aplicación a la fotogrametría depende de sus objetivos. Por tanto, sus implementaciones poseerán puntos fuertes y débiles dependiendo del elemento a modelar. Algunas solamente generan una nube de puntos 3D (en color) y realizan el cálculo de la posición de las cámaras, otras generan la mallas, pero existen soluciones más completas en lo que se refiere al *workflow* del proceso capaces de generar una reconstrucción fotogramétrica completa⁸.

Entre las opciones más populares (evitando aquellos orientados a la fotogrametría aérea) encontramos VisualSFM⁹, iWitness¹⁰, Esri CityEngine 2012¹¹, Autodesk's 123DCatch¹², Photomodeller¹³ o Photoscan¹⁴ a los que les sigue un largo etcétera.

Para el desarrollo de la experiencia nos hemos decantado por la herramienta Photoscan de

⁸Se procederá a la descripción del flujo de trabajo en el caso de estudio en la sección 3.

⁹<http://homes.cs.washington.edu/~ccwu/vsfm/>

¹⁰<http://www.iwitnessphoto.com>

¹¹<http://www.esri.com/>

¹²<http://www.123dapp.com/catch>

¹³<http://www.photomodeller.com/>

¹⁴<http://www.agisoft.ru/products/photoscan/>

Agisoft que ofrece una solución integral de todo el flujo de trabajo para generar el modelo:

- edición fotos: desde la que se puede seleccionar las zonas inservibles para que no las tenga en cuenta el algoritmo.
- detección de puntos de control: a partir de las fotos se localizan los pares y puntos comunes.
- generación de nube de puntos: a partir de puntos de control entre los pares de fotos se genera una nube de puntos 3D donde encajar las fotos.
- generación de malla: que nos proporciona una red de triángulos que modela el objeto/espacio.
- edición de malla: para eliminar las imperfecciones del modelo.
- generación de textura: que proporciona un gran realismo al modelo a partir de las tomas fotográficas.
- exportación a formatos estándar: en este apartado nos interesa especialmente el formato U3D ya que nos va a permitir incrustar el modelo en un documento PDF.

3. Caso de estudio: Fuente de calle *Los Cristos* (Málaga)

La fuente de la calle de Los Cristos corresponde al entramado del Acueducto de San Telmo (Davo-Díaz, 1986). Obra promovida por el obispo Molina Lario y desarrollada por el arquitecto-director Martín de Aldehuela desde el año 1.782. Este acueducto será el eje fundamental, tanto para abastecimiento de aguas potables para el consumo humano, como de aguas de riego para una ciudad que desde siempre había mostrado graves problemas en el abastecimiento de aguas (Rodríguez-Marín, 2007). Así el obispo Molina Lario intentará resolver los problemas y males (muchos de índole sanitario) que acuciaban a la ciudad en pleno siglo XVIII.

La fuente de la calle de Los Cristos¹⁵ corresponde a uno de estos puntos de abastecimiento. Se asocia al monasterio de San Luis el Real otorgado por los Reyes Católicos el 14 de septiembre 1.489 (dos años después de la entrega de la ciudad) a los religiosos franciscanos e iniciándose sus obras probablemente entre 1.490 y 1.491. A pesar de que la fuente se asocia tradicionalmente con el arquitecto José Martín de Aldehuela y el acueducto de San Telmo, posee una cartela con las cinco llagas, símbolo franciscano, con la fecha 1.790. Fecha en la que el maestro mayor de obras Silvestre de Bonilla hizo unas reformas en las cañerías del convento (esta fuente abasteció sus huertas). Este hecho hace pensar al profesor Rodríguez-Marín en una nueva propuesta de autoría exponiendo que (Rodríguez-Marín, 2000):

“considerar que un regalo tan generoso debió obedecer a un trabajo de mayor magnitud que el simple arreglo de una cañería, y que fue la comunidad franciscana la que mandó construir esta fuente”.

¹⁵Cercana a calle Ollerías.

3.1. Flujo de trabajo y detalles técnicos de la reconstrucción

Procederemos, en los siguientes apartados, a exponer metodológicamente la experiencia; incluyendo una descripción detallada de los trabajos realizados y sus resultados. Los modelos generados, para ilustrar su funcionamiento, han sido incrustados en este mismo documento para que el lector pueda comprobar su funcionamiento, visualizarlos y realizar rotaciones sobre los mismos¹⁶.

Se ha usado como base el software Photoscan puesto que nos proporciona de forma integrada todo el flujo de trabajo: desde la toma fotográfica hasta la exportación del modelo 3D generado pasando por el desarrollo de la textura digital.

El trabajo se ha abordado atacando dos aspectos que se creen de interés:

- por un lado, la generación de un modelo 3D de la fuente completa en su entorno,
- por otro, la recreación de un detalle de la fuente uno de los surtidores de agua para explotar al máximo la calidad del modelo.

Detallaremos cada una de las fases de la experiencia de campo.

Fase 1: Toma fotográfica. La toma fotográfica se ha realizado con una Canon G12. Se ha realizado un total de 81 fotografías (figura 2) que, a pesar de no disponer de todas las perspectivas¹⁷, ofrecen un resultado con suficiente volumen.

La toma fotográfica se ha planificado usando de forma inversa el conocimiento sobre el funcionamiento de los algoritmos de selección de fotografías y búsqueda de patrones (Snavely, Seitz, & Szeliski, 2008). Gracias a esta planificación el sistema ha aprovechado las fotografías en un 100 % sin descartar ninguna.

Fase 2: Cálculo de cámaras y generación de nube de puntos. En esta fase, se ha realizado una edición previa de las fotografías. Se ha indicado en el sistema, mediante una máscara, qué zonas son las que se usarán para ejecutar el algoritmo de reconocimiento de patrones. Este algoritmo de localización de patrones, realiza una búsqueda de puntos singulares que sean reconocibles en al menos 2 fotografías.

Como resultado se genera una nube de cámaras (una por fotografía) obteniéndose una tasa aceptación también del 100 %. Esta nube de cámaras refleja la posición relativa de las cámaras en el espacio tal como se observa en la figura 3 y son proyección inversa de las intersecciones de los puntos que se han detectado por pares.

¹⁶Es necesario abrir el documento con Adobe Acrobat Reader v11 o posterior para la correcta interpretación de documentos U3D.

¹⁷Serían necesarias las realizadas desde una grúa para alcanzar mayor nivel de detalle en la zona superior de la fuente.



Figura 2: Galería fotográfica

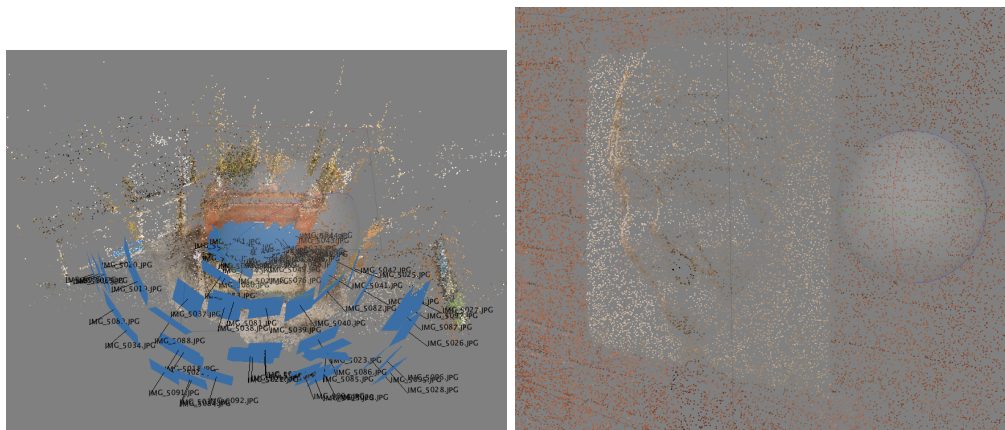


Figura 3: Nube de puntos generada y posición de cámaras

El detalle de esta nube de puntos lo tenemos tanto en la figura de la fuente completa (generada a partir de 264.458 puntos de coincidencia), como en la figura de uno de los surtidores que posee la fuente donde se puede apreciar el relieve generado a partir de 51.871 puntos de coincidencia.

Fase 3. Generación de malla. A partir de la posición de las cámaras y la nube de puntos se generan las correspondientes mallas. Las mallas poseen proporciones relativas a los elementos a modelar tal y como se refleja en la figura 4.

Las mallas generadas se dispusieron con un total de 200.000 polígonos. Para la fuente completa se generaron finalmente 97.346 vértices y para el detalle un total de 100.441 vértices. Hemos de destacar en esta fase que el modelo de malla de la fuente completa tuvo que ser editado para eliminar elementos que desproporcionaban el modelo y su malla cerrada para una mejor generación de la textura; de ahí las variaciones en lo referente a número de vértices.



Figura 4: Malla 3D

Fase 4. Generación de la textura. Esta fase genera, a partir de las tomas fotográficas, las correspondientes texturas adaptadas a la malla 3D (4096x4096 puntos). Con esta última fase obtenemos el modelo final que puede ser exportado a diferentes sistemas estándar para su tratamiento. Así, mediante la posibilidad de exportación a Universal 3D (U3D), y aprovechando las posibilidades de \LaTeX , \PDFTeX y el paquete `media9`¹⁸ podemos incrustar dicho modelo en un PDF lo que ofrece la posibilidad de aumentar la capacidad de un texto plano o enriquecido con imágenes o enlaces. En nuestro caso de estudio en un folleto turístico en PDF con el monumento en 3D.

4. Resultados

El resultado final de la ejecución de los diferentes algoritmos son dos modelos. Estos modelos han sido incrustados en este artículo siendo totalmente funcionales.

La figura 5 contiene incrustado el modelo 3D de la fuente de la calle de Los Cristos. Mediante el uso del ratón se puede interactuar con el archivo PDF (vé en Apéndice – sección 6) usando los siguientes controles:

- rueda central para zoom,
- pinchar y arrastrar para rotaciones,
- CTRL ó ALT (depende del sistema operativo) y arrastrar para centrar el modelo.

¹⁸Alexander Grahn en el nodo CTAN <http://ctan.unixbrain.com/macros/latex/contrib/media9/doc/media9.pdf>

El segundo resultado lo tenemos en la figura 6 donde se muestra el detalle del surtidor de la fuente en las mismas condiciones. Ambos modelos representan con gran fidelidad la realidad siendo aptos para incluir en un folleto con información turística en PDF descargable desde Internet.

5. Conclusiones

La utilidad de este tipo de modelos, su inclusión en diferentes documentos estándar, accesibles a través de la web e incluso adaptables a sistemas de realidad aumentada no sustituyen la tradicional documentación, pero sí aportan un grado más de percepción, tanto del patrimonio mobiliario como inmobiliario.

Las aplicaciones, por tanto, son muy amplias desde el punto de vista de la promoción turística. Tanto paisajística como monumental e incluso para los propios museos, todo con un menor coste que los tradicionales modelados 3D o modelados mediante escáner. Esta técnica adicionalmente genera texturas muy reales a partir de fotografías y, por tanto, son de gran interés tanto para la difusión como para la documentación del patrimonio. Estas técnicas aportan una visión adicional a la fotográfica que permite registrar *in situ* y *as-is* la situación de un bien (incluso su estado de conservación).

La posibilidad de inclusión en documentos estándar PDF estos modelos, los hacen muy aptos para la elaboración folletos electrónicos para los que no es necesaria la instalación de *plugins* especiales. Pero esto no es todo, su realismo y la ligereza con la que se pueden desarrollar hacen que puedan ser usados para publicar vídeos renderizados a partir del modelo 3D o en aplicaciones de realidad aumentada.

Esta herramienta es un complemento más que sin duda redundará en una mejor y mayor difusión de nuestro patrimonio arqueológico, artístico y monumental.

6. Apéndice

Figura 5: Reconstrucción 3D. *Fuente calle Los Cristos.*

Figura 6: Detalle máscara surtidor 3D. *Fuente calle Los Cristos.*

Referencias

- Altair4 multimedia srl. (2011). *Rome mvr time window (iphone app rome mvr)*. <http://www.altair4.com/2011/07/14/rome-mvr-time-window/> acc. oct. 2012.
- Davo-Díaz, P. J. (1986). *El aqueduct de san telmo*. Servicio de Publicaciones: Diputación Provincial de Málaga.
- Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1987). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. 726–740.
- Habib, A. F., Ghanma, M., Al-Ruzouq, R., & Kim, E. (2004). 3d modelling of historical sites using lowcost digital cameras. En *Xxxvth congress of isprs*. ISPRS.
- Hadow, S. D. (2012). *A bone to pick (blog): Çatalhöyük 2012: Week 5*. <http://scotthadow.wordpress.com/2012/07/27/catalhoyuk-2012-week-5/> acc. sept. 2012.
- Instituto Geográfico Nacional. (2011). *Camino de santiago 2.0 - camino francés*. <http://www.01.ign.es/ign/layoutIn/csantiagoportada.do/> acc. oct. 2012.
- Longuet-Higgins, H. C. (1981). A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections. *Nature*, 293, 133–135.
- Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. En *In international conference on computer vision* (pp. 1150–1157). Corfu (Greece).
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scaleinvariant keypoints. *nternational journal of computer vision*, 60(2), 91–110.
- Mikolajczyk, K., Tuytelaars, T., Schmid, C., Zisser-Man, A., Matas, J., Schaffalitzky, F., Kadir, T., & Van Gool, L. (2005). A comparison of affine region detectors. *International Journal of Computer Vision*, 65(1/2), 43–72.
- Mohr, R., Quan, L., & Veillon, F. (1995). Relative 3d reconstruction using multiple uncalibrated images. *International Journal of Robotics Research*, 14(6), 619–632.
- Portalés, C., Lerma, J. L., & Pérez, C. (2009). Photogrammetry and augmented reality for cultural heritage applications. *The Photogrammetric Record*, 24(128), 316–331.
- Rodríguez-Marín, F. J. (2000). *Málaga conventual: Estudio histórico, artístico y urbanístico de los conventos malagueños*. Ed. Arguval.
- Rodríguez-Marín, F. J. (2007). Patrimonio y ciudad. el acueducto de san telmo: ¿futuro ecomuseo del agua o venerable ruína? *Isla de Arriarán: revista cultural y científica*(29), 35–65.
- Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2006). Photo tourism: exploring photo collections in 3d. *ACM Transactions on Graphics*, 25(3), 835–846.
- Snavely, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2008). Modeling the world from internet photo collections. *Int. J. Comput. Vision*, 80(2), 189–210.
- Suárez, J., Caro, J., Márquez, J., Mata, H., & Jiménez, V. (2012). Trabajos de campo de la universidad de máлага en perdigões (reguengos de monsaraz, portugal). campañas 2011 y 2012: excavación en extensión en el entorno de la puerta 1. En *Vi encuentros de arqueología del suroeste peninsular*. Villafranca de los Barros (Badajoz).

- Wang, & Ahmad, A. (2002). Digital architectural photogrammetric recording of historical building and monuments. *New Zealand Surveyor*(293), 25–30.
- Wan, X., Zhang, Z., & Wan, Y. (2012). An improved algorithm used in automatic matching for low–altitude aerial image. En *Commission vi, youth forum international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences* (Vol. XXXIV-B6). Melbourne (Australia).
- Wessex Archaeology. (2007). *A virtual stonehenge landscape*. <https://vimeo.com/387367> acc. sept. 2012.