

# Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio

J.C. Torres, P. Cano, J. Melero, M. España, J. Moreno

GIIG. Grupo de Investigación en Informática Gráfica de la Universidad de Granada. España.

## Resumen

*La digitalización 3D se ha convertido en un herramienta habitual en arqueología. No obstante, el procesamiento de los datos generados por los escáneres láser sigue siendo complejo, y la utilidad dada a los modelos obtenidos es aún muy limitada.*

*En este trabajo analizamos algunos de los puntos más conflictivos en el procesamiento de las nubes de puntos, revisamos algunas de las aplicaciones usuales de los modelos digitales y proponemos un marco conceptual para la utilización de los modelos 3D en la documentación arqueológica.*

**Palabras Clave:** DIGITALIZACIÓN 3D, DOCUMENTACIÓN, ESCÁNER LÁSER

## Abstract

*3D digitalization has become a common tool in archaeology. However, the post processing of the data produced by the scanners is still quite complex, and the computer models generated are given very few practical applications.*

*In this paper, we analyse the key steps involved in the processing of the point clouds. We also review some of the more usual applications for the digital models and propose a conceptual framework for the use of this models in the documentation of cultural heritage.*

**Key words:** 2D DIGITIZING, HERITAGE DOCUMENTATION, LASER SCANNER

## 1. Introducción

La digitalización tridimensional es la generación de un modelo informático tridimensional de un objeto. El modelo digital puede procesarse en un sistema informático no solamente para generar imágenes y animaciones, si no también para realizar cálculos, estudiar sus propiedades o editarlo. Si bien el interés por este proceso en arqueología es tan antiguo como la informática gráfica, su utilización ha estado condicionada por la evolución de las tecnologías de captura y por el desarrollo de aplicaciones específicas.

Independientemente de la tecnología usada, la digitalización implica una toma de datos del objeto y un procesamiento informático de los mismos. No obstante la tecnología condicionará el esfuerzo de procesamiento y la bondad de los resultados obtenidos.

Uno de los primeros métodos usados para la reconstrucción digital en arqueología es el modelado directo a partir de medidas realizadas sobre el yacimiento. Usando este método la toma de datos consiste en realizar un conjunto de mediciones. El procesamiento informático se reduce a generar el modelo digital con un programa de diseño 3D. Con este esquema es fácil añadir al modelo digital elementos que se han perdido por el paso del tiempo, siendo complejo reproducir con fidelidad el objeto en su estado actual. Por este motivo, esta técnica se ha usado esencialmente para la recreación virtual de ciudades y edificios. Un ejemplo notable de estos trabajos es el proyecto "Italia virtual" (GRANDE 2002).

La dificultad para generar modelos fieles a la realidad procede del reducido volumen de información tomado. Para aumentarla se pueden usar técnicas precisas de medida, o algoritmos que obtengan la información geométrica a partir de fotografías. En las últimas décadas se han desarrollado diversas estrategias de este tipo. Ha sido el desarrollo de los escáner láser lo que ha hecho posible capturar de forma rápida un conjunto de muestras suficientemente grande de los objetos.

Independientemente del principio de funcionamiento y de la tecnología utilizada, los escáner láser devuelven una distribución de puntos medidos sobre la superficie del objeto, y opcionalmente información de color en los puntos. Este conjunto de puntos se usa en algunos casos como representación del objeto, haciendo la visualización directa de los puntos ("point based rendering"). Sin embargo, para obtener un modelo 3D útil es necesario procesar esta nube de puntos para generar una malla poligonal. Por otra parte, la digitalización de cualquier objeto, por simple que sea, conlleva la realización de varias tomas con el escáner, que dan lugar a varias nubes de puntos, que se deben fusionar en una única malla. Además, el número de puntos suele ser excesivamente alto, debido a que el muestreo es fijo, e independiente de las irregularidades del objeto. Cada una de estos pasos se resuelve con procesos semiautomáticos, que deben realizarse por personal especializado y con un consumo alto de tiempo y recursos de cálculo (TORRES 2007).

## 2. Modelos 3D

Los requisitos que debe cumplir el modelo dependerán del uso que se va a hacer del mismo. Si solo queremos visualizar el modelo desde la posición en la que estaba el escáner nos bastará con la nube de puntos tomada desde esa posición. Si queremos generar una maqueta del objeto usando una impresora 3D necesitaremos un modelo sólido.

Una medida habitual de la bondad de un modelo digital es la **resolución**. En este contexto se entiende por resolución la distancia entre muestras adyacentes, que está relacionado con el tamaño de la menor irregularidad que podemos representar. La resolución depende de la tecnología del escáner láser y de la distancia a la que se ha capturado el objeto. Puede oscilar entre varios centímetros para escáner de tiempo de vuelo, con objetos lejanos, hasta las décimas de milímetro para escáneres de triangulación. En el procesamiento del modelo es posible modificar la resolución, diezmando la malla poligonal o enriqueciéndola. En este último caso la información se añade haciendo algún proceso de interpolación.

La bondad del modelo digital no solo depende del número de medidas que tenemos de él. La **precisión** de estas medidas también es esencial, ya que determina el error que podemos tener en cada vértice del modelo. La precisión depende exclusivamente de la tecnología del escáner, que condiciona el error cometido en la medida de distancias en cada dirección (no suele ser isotrópico) y el tamaño del haz láser, “spot” (BOEHLER 2003).

Con los puntos devueltos por el escáner se puede construir un modelo geométrico. De las características del modelo dependerá el tipo de información que podamos obtener de él.



*Figura 1. El modelo de la izquierda presenta una fisura (imagen de la derecha) que solo es apreciable cuando se introduce la cámara en su interior.*

Para poder calcular propiedades del modelo, como su volumen o su peso, es necesario que este formado por una malla cerrada, sin fisuras, y que no se produzcan auto-intersecciones. Otros procesos, como refinar la malla, requieren además que esta sea “manifold”, esto es, que no existan puntos de contacto entre vértices o aristas. Existen algoritmos específicos para generar mallas con estas propiedades, aunque en algunos casos el proceso es manual.

El nivel de corrección geométrica necesaria dependerá del uso que se da al modelo digital. Si solo se pretende visualizar el modelo puede no ser necesario cerrar todas las fisuras (ver figura 1).

## 3. Aplicaciones

La digitalización, como cualquier otra técnica, no es el fin, si no un medio. Por tanto debe de servir como base para el desarrollo de aplicaciones que resuelvan problemas concretos en el ámbito del patrimonio cultural. En esta sección analizaremos algunas de las aplicaciones que se han dado a la digitalización 3D en patrimonio cultural.

**Documento gráfico.** El modelo digital constituye un detallado documento gráfico tridimensional, que puede permitir saber como era un objeto en un momento dado. Esta documentación es especialmente valiosa cuando se va a realizar alguna intervención en el elemento, ya que constituye un registro tridimensional de la superficie del objeto, que permitiría reconstruirlo en caso de desastre.

**Difusión.** Una de las aplicaciones más frecuentes de la digitalización ha sido la generación de modelos 3D para realizar visitas virtuales. El objetivo aquí es poder crear imágenes o animaciones, que faciliten el conocimiento del patrimonio. Esto es especialmente interesante cuando el original es de difícil, o peligroso, acceso, o cuando las visitas deterioran el original. También tiene sentido para permitir una mayor difusión, llegando a un número de personas mayor. Obviamente se puede usar como vehículo para promocionar el patrimonio.

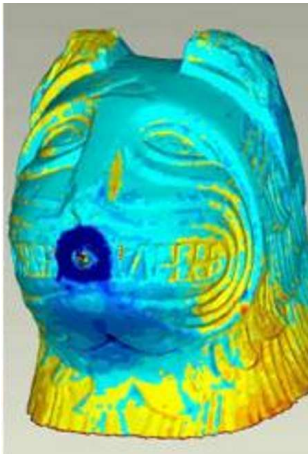
Otra motivación es permitir que se exploren con detalle elementos que quedan excesivamente lejos del visitante. Con este fin se ha digitalizado la fachada de la entrada del monasterio de Ripoll, permitiendo a las visitantes explorar todo el bajorrelieve (de 7 x 11 m) con un detalle milimétrico (BESORA 2008).

Uno de los aspectos más interesantes en este campo es la posibilidad de completar el modelo con componentes no existentes en el original en la actualidad. Así, por ejemplo, se puede crear un modelo completo de una ciudad romana, a partir de la digitalización de las calles y cimientos de viviendas que ha perdurado. El modelo será lógicamente fiel solo a los restos digitalizados, el resto del modelo será producto de la interpretación del historiador, que se basará en otras fuentes (p.e. descripciones escritas). Entre las reconstrucciones más completas realizadas hasta la fecha se encuentra la de la ciudad romana de Pompeya (PAPAGIANNAKIS 2005).

En este tipo de aplicaciones la precisión geométrica tiene un valor secundario. Técnicamente el objetivo principal es producir “sensación de realidad”. Para conseguirla es necesario un cierto detalle geométrico (aunque el modelo no sea fiel), y un alto detalle visual. Por otra parte, estas aplicaciones deben funcionar frecuentemente de forma interactiva, o incluso sobre sistemas de realidad virtual, permitiendo al usuario desplazarse por el modelo o modificar parámetros de este. En estos casos es esencial que la visualización pueda realizarse de forma interactiva, lo que limita el nivel de detalle geométrico utilizable. En otras ocasiones, el modelo se visualiza a través de internet, siendo entonces el ancho de banda de la red lo que limita la complejidad del modelo.

Para reducir complejidad geométrica debe simplificarse el modelo. Además es posible sustituir detalles geométricos (como una fisura que no se va a permitir que se observe de cerca) por texturas, o por mapas de normales. Es posible incluso sustituir elementos geométricos completos por polígonos texturados, “impostores” (MELERO 2005).

**Maquetación.** La tecnología de impresión 3D desarrollada en la última década permite realizar copias a escala, o a tamaño real, del elemento. De esta forma es posible realizar maquetas de gran fidelidad, y replicas completas, como se ha hecho con las cuevas de Altamira. Esto ha permitido sustituir las visitas a las cuevas por recorridos en la replica, favoreciendo la conservación. Para poder realizar una copia física es necesario que el modelo, además de tener el nivel de precisión exigido para el fin que va a tener la maqueta, sea geoméricamente correcta, y defina un sólido válido.



*Figura 2. Zonas modificadas durante el proceso de restauración mostradas en escala de color sobre la cabeza de uno de los leones del Patio de los Leones de la Alhambra.*

**Análisis.** Disponer de información detallada del modelo puede permitir analizar el estado del mismo. Se puede comparar el estado del modelo en dos momentos diferentes y también generar información a partir de las propiedades geométricas del modelo en su estado actual. La digitalización del David de Miguel Ángel se ha usado para analizar la acumulación de contaminantes en la escultura y su estabilidad. Este último estudio ha permitido determinar el origen de fisuras existentes en el tobillo debidas a las tensiones producidas por el desplazamiento del centro de gravedad respecto a la base de sustentación (SCOPIGNO 2003).

**Restauración.** En el proceso de restauración la digitalización puede ser útil como registro de la evolución del proceso. Esto permite analizar los cambios realizados en el objeto. La figura 2 muestra las diferencias en la cabeza de uno de los leones del Patio de los Leones de la Alhambra antes y después de la restauración. Cuando se han perdido partes del modelo, es posible modelarlas en el ordenador, sobre el modelo digitalizado, generando posteriormente la falta o un molde para construirla usando una impresora 3D.

**Documentación.** Un problema esencial en el tratamiento, conservación y recuperación del patrimonio histórico es la gestión de la documentación. Se han realizado diversas propuestas que integran información documental con el modelo digital, la mayor parte de ellas orientadas a la difusión. Agnello propone el uso de hipertexto (AGNELLO 2003). El método obliga a prediseñar los elementos a los que se va a asociar información, por tanto solo puede ser usado para sistemas con

información estática. Hodač usa un modelo 2D de la planta del edificio para indexar la información, vinculando a este el modelo

3D (HODAČ 2005). Esto permite navegar por el modelo, pero impide asociar información a elementos tridimensionales. Con este mismo enfoque, Naglič et al. utilizan un sistema GIS convencional (NAGLIČ 2003). Meyer aborda el diseño de sistemas accesibles via web, pero limitando la interacción a componentes predefinidos (MEYER 2006, MEYER 2007). Loannidis utiliza un sistema GIS al que conecta el modelo 3D para realizar kioscos informativos en Micenas, pero sin posibilidad de consulta o edición desde el modelo 3D (LOANNIDIS 2003). En todas estas propuestas se ha utilizado software existente, sin conseguir una conexión bidireccional entre la documentación y el modelo 3D.

Virtual Inspector es una interfaz de visualización orientado a la inspección de complejas representaciones de objetos 3D optimizados y enriquecidos con enlaces a información descriptiva multimedia, utilizado como kiosco en distintas exposiciones, gracias a su fácil reconfiguración (CALLIERI 2008).

#### 4. Hacia el diseño de sistemas de información arqueológicos

Hasta la fecha, cada tipo de problema se ha planteado y resuelto de forma especial. No se ha definido ninguna herramienta genérica que permita gestionar toda la información relacionada con el procesamiento de modelos digitales 3D de patrimonio histórico.

Un ejemplo de sistema propuesto en esta línea es el diseñado por Okamoto (OKAMOTO 2008). Este sistema trabaja sobre una base de datos multimedia que permite, en tiempo real, asociar información a densos modelos 3D obtenidos mediante escáner láser. Esta asociación se realiza sobre el modelo 3D directamente, tanto para edición como para consulta.

Este tipo de sistemas, que se encuentran en un estado de desarrollo incipiente, permiten etiquetar el modelo. Esta funcionalidad dista mucho de la que es capaz de realizar un sistema GIS convencional. Los sistemas GIS sacan partido de la estructuración de los atributos en mapas, y de la posibilidad de operar entre estas.

Para poder utilizar de un modo semejante la información asociada a un conjunto histórico es necesario disponer de un sistema de información que interrelacionen los distintos datos, ubicándolos espacialmente sobre el modelo 3D. Este problema está resuelto en otros ámbitos (los sistemas GIS permiten relacionar elementos ubicados sobre un territorio). En el ámbito del patrimonio histórico nos encontramos frecuentemente situaciones en las que los elementos no se distribuyen en el territorio, si no sobre una fachada, una escultura o un bajorrelieve. Estas son, por otra parte, las situaciones en las que tendrá sentido digitalizar el modelo.

Un sistema de este tipo requiere que se defina una transformación unívoca e invertible entre el modelo 3D y el espacio en el que se representa la información. En un GIS esta transformación es la proyección y el espacio de representación de información es un rectángulo. La dificultad en el caso de un modelo 3D general está en establecer la transformación. En el

caso de superficies simples se puede realizar una parametrización del modelo 3D. Este proceso es el que se sigue para aplicar una textura. En modelos grandes se suele descomponer la superficie en zonas a las que se les calcula la transformación de forma independiente. Este enfoque no es válido para el sistema de información pues genera una colección de texturas (atlas de textura), la transformación no es unívoca, y no es invertible.

Otra diferencia importante entre ambos sistemas se deriva de los mecanismos de edición e interacción. En el caso de los sistemas GIS, el usuario trabaja directamente sobre los mapas, ya que la mecánica de la proyección es natural y conocida. En nuestro caso, necesitaremos que la edición e interacción se realice sobre el propio modelo 3D, ya que la transformación no será intuitiva.

Un sistema de información para patrimonio podría servir como herramienta genérica, en la que podrían desarrollarse la mayor parte de las aplicaciones descritas.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y los fondos FEDER, a través del proyecto TIN2007-67474-C03-02 y por la Consejería de Innovación Ciencia y Empresa, Junta de Andalucía a través del proyecto de excelencia TIC-401.

## Bibliografía

- AGNELLO, F. et al. (2003): Cultural heritage and information systems, an investigation into a dedicated hypertext. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part 5.
- BESORA, I. et al.(2008): “Real-Time Exploration of the Virtual Reconstruction of the Entrance of the Ripoll Monastery”, en *Actas del XIX Congreso Español de Informática Gráfica CEIG'08*.
- CALLIERI, M. et al.(2008):Virtual Inspector: “A Flexible Visualizer for Dense 3D Scanned Models”. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 28, no.1, pp. 44-54
- GRANDE LEON, A. (2002): “Itálica virtual. Un proyecto educativo que hace Historia”, en *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, n° 40/41, pp. 241-247.
- HODAČ J. (2005): 3D Information System of Historical Site – Proposal and Realisation of a Functional Prototype. *Acta Polytechnica*. Vol. 45 No. 1
- IOANNIDIS, C. et al. (2003): An integrated spatial information system for the development of the archaeological site of mycenae. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part 5.
- LAMOLDA F. et al. (2008): “Registro mediante la utilización de escáner 3D del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones”. Taller en el *IX Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, Sevilla.
- MELERO J. et al. (2005): “Combining SP-octrees and impostors for the visualisation of multiresolution models”. *Computer & Graphics*, vol. 29, pp: 225-233
- MEYER, É. et al. (2006): “Intra-site Level Cultural Heritage Documentation: Combination of Survey, Modeling and Imagery Data in a Web Information System”. *7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage. VAST*.
- NAGLIČ K.K. (2003): “Cultural Heritage Information System in The Republic of Slovenia”. *ARLADNE 5 Workshop on Documentation, Interpretation, Presentation and Publication of Cultural Heritage*. Prague.
- PAPAGIANNAKIS, G. et al. (2005): “Mixing Virtual and Real scenes in the site of ancient Pompeii”. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 16(1), 11–24.
- OKAMOTO, Y.,(2008): “Editing, Retrieval, and Display System of Archeological Information on Large 3D Geometric Models”. *Digitally Archiving Cultural Objects*, chapter 21
- SCOPIGNO R. et al. (2003): “Using optically scanned 3D data in the restoration of Michelangelo’s David. Optical Metrology for Arts and Multimedia”. *Proceedings of the SPIE*, Vol. 5146, pp. 44-53

## Conclusiones

La aplicación de la digitalización 3D al patrimonio requiere la automatización del procesamiento de las nubes de puntos y el desarrollo de software que aproveche la potencialidad de los modelos digitales. La evolución de este software debe llevar a la creación de sistemas integrales de gestión de información arqueológicos, que trabajen en un modo análogo a como lo hace un sistema GIS.