

Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual

3D modeling for the generation of virtual heritage

Francisco Díaz Gómez¹, Josué Jiménez Peiró¹, Amparo Barreda Benavent², Bárbara Asensi Recuenco³,
Juan Hervás Juan⁴

¹ AIDO. Laboratorio de Metrología Óptica. Paterna, Valencia. España

² AIDO. Laboratorio de Imagen Híper-Espectral. Paterna, Valencia. España

³ AIDO. Departamento de Formación. Paterna, Valencia. España

⁴ AIDO. Visión Artificial. Paterna, Valencia. España

Resumen

El presente artículo se centrará en la generación de contenidos 3D virtuales asociados al patrimonio cultural. La estructura principal del mismo se divide en dos partes bien diferenciadas: una primera centrada en la generación de los contenidos 3D, analizando las tecnologías de medición 3D más utilizadas dentro del patrimonio, las aplicaciones informáticas más importantes para la gestión de la información obtenida y la generación de los contenidos de interés; y una segunda parte donde se expondrán dos casos prácticos que mostrarán el potencial de las tecnologías, previamente explicadas, para el acercamiento del patrimonio cultural, tanto al público en general como entre especialistas en particular, gracias al desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación.

Palabras Clave: MEDICIÓN 3D, PATRIMONIO CULTURAL, PROYECCIÓN LÁSER, PROYECCIÓN DE PATRONES.

Abstract

The present article is focused on the generation of virtual 3D contents from cultural heritage. Its main structure is divided in two well-defined blocks: the first one focused in the generation of 3D models, analyzing the most used technologies of 3D measuring in the cultural heritage, the most important software applications for the management of the 3D models obtained and the generation of the target contents; and a second block for exposing two case studies showing potential of these technologies, previously shown, for approaching the cultural heritage to both the general public and researchers, due to the development of the information and communication technologies.

Key words: 3D MEASURING, CULTURAL HERITAGE, LASER PROJECTION, PATTERN PROJECTION.

1. INTRODUCCIÓN: MODELADO 3D EN EL PATRIMONIO CULTURAL

La generación de contenidos virtuales 3D es una herramienta muy extendida en el sector del entretenimiento y la animación en general, así

como en determinadas áreas industriales pero, a día de hoy, tiene poca incidencia dentro del patrimonio cultural. A su vez, el mundo y la sociedad actual tiende, cada vez más, hacia una mayor globalización, y esta se está consiguiendo

a través del mayor y mejor uso de las herramientas TIC's.

Mediante el uso de contenidos virtuales, el patrimonio cultural puede dar un paso adelante y embarcarse en igualdad de condiciones en la nueva era de las TIC's. Con los contenidos virtuales 3D se puede conseguir mayor y mejor difusión y marketing. El hecho de que se pueda enlazar a una página web hace que, además, se consiga una mayor difusión entre las nuevas generaciones, más proclives a la adquisición de información por este canal.

En el campo del patrimonio cultural, la generación de contenidos virtuales, aparte de la fotografía, se basa en la digitalización 3D. Debido a la especial naturaleza de los objetos o elementos que se inscriben dentro del patrimonio cultural (fragilidad, alto grado de deterioro, alta sensibilidad a agentes extraños, etc.), a la hora de realizar el proceso de digitalización sólo se pueden utilizar tecnologías no invasivas ni destructivas, que aseguren su integridad e inalterabilidad. Por lo que están cobrando cada vez mayor importancia las tecnologías de digitalización 3D basadas en técnicas ópticas.

Los modelos 3D generados con estos sistemas son el punto de partida de una gran variedad de aplicaciones, entre las que destaca la visualización 3D, que es en torno a la cual se desarrolla el presente artículo.

2. TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN 3D

En la actualidad, las técnicas de medición 3D sin contacto más empleadas en patrimonio son las basadas en métodos ópticos. Entre estas técnicas, destacan las de digitalización 3D basadas en proyección de luz láser y de proyección de franjas, también llamadas de luz blanca estructurada.

En ambos casos, se trata de técnicas no invasivas en las que, mediante la proyección de un determinado patrón de luz sobre el objeto que se desea medir y tras el análisis de la información geométrica capturada, se generan modelos de nubes de puntos 3D de alta calidad,

con unos valores de resolución y de precisión relativa (en función del volumen total del modelo medido) muy elevados.

Estas nubes de puntos permiten realizar mediciones sobre el modelo digital sin necesidad de disponer de él físicamente, todo tipo de pruebas y test virtuales, que realizados sobre el modelo físico serían de carácter destructivo o invasivo, simulaciones de todo tipo y fabricación de facsímiles, que permiten obtener modelos físicos con los que trabajar, preservando el modelo original. Además, estos modelos de nubes de puntos permiten generar aplicaciones de visualización 3D, que son el eje del presente artículo, de forma que se puede tener acceso a la información del objeto original para aplicaciones de presentación y acceso remoto de tipo turístico y cultural.

Medición 3D por proyección de patrones

Los sistemas de digitalización por proyección de franjas disponen de dos componentes básicos, un proyector y una cámara. El primer componente se encarga de proyectar un patrón dinámico de franjas de luz y sombra (o de blanco y negro). Este patrón, que varía de forma en el tiempo, consiste en una secuencia de franjas que cambian de espesor durante el proceso de proyección.

El segundo componente del sistema, la cámara, captura la deformación de las franjas al ser proyectadas sobre la superficie del objeto a digitalizar, obteniendo una secuencia de imágenes de curvas. Mediante algoritmos de análisis y reconstrucción de imagen, se transforman las imágenes capturadas en nubes de puntos con la información geométrica superficial del objeto a digitalizar.

Además, estos sistemas permiten capturar la información de color del objeto a digitalizar, mediante la proyección de patrones RGB, de forma que a cada punto geométrico, con una terna de valores dimensionales, se le asocia una segunda terna de valores de color RGB.

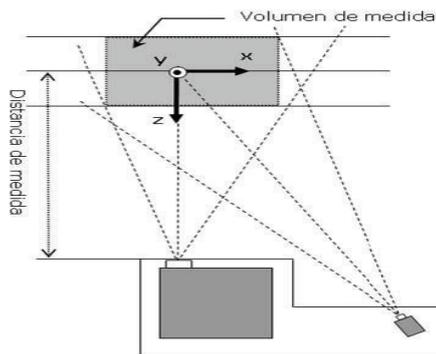


Figura 1. Esquema de un sistema de digitalización

El proceso de digitalización genera un modelo de nube de puntos que, tras la realización de un proceso de mallado, se convierte en un modelo poligonal. Este modelo poligonal es geoméricamente idéntico al modelo de nube de puntos, con la única diferencia de que, en el modelo poligonal, los puntos están unidos entre sí mediante triángulos, generando un modelo continuo.

Para la obtención del modelo 3D completo del objeto a digitalizar, se realizan diversas capturas desde diferentes ángulos, obteniendo digitalizaciones de toda su superficie, tras lo cual se procesa dicha información en software específico, realizando las operaciones de alineación y fusión de dichas capturas. El resultado de este paso es un único modelo 3D con la información geométrica de todas las tomas parciales de partida.

Una vez convertida toda la información de capturas individuales en un único modelo, se procede a la optimización del modelo obtenido, realizando múltiples operaciones sobre el modelo tales como aplicación de filtros, cerrado agujeros (en el caso de que los haya y no sean tan grandes como para requerir una captura adicional) optimizan los polígonos en forma y cantidad, etc., hasta obtener un modelo poligonal hermético y limpio que represente al objeto físico digitalizado.

Tras la optimización del modelo poligonal, el último paso a realizar es el de exportar el modelo 3D al formato requerido para la aplicación posterior, que normalmente es STL

(si no se requiere color) o ply, wrl o obj, entre otros.

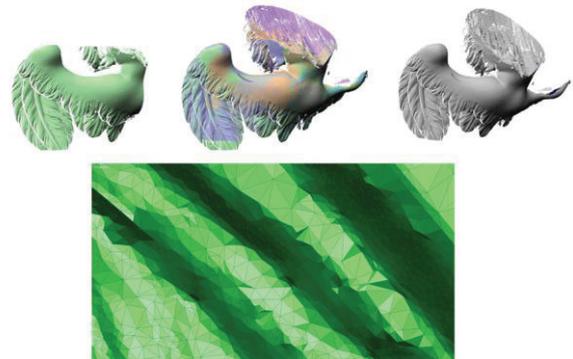


Figura 2. Esquema básico de trabajo, de la captura a la malla

El principal inconveniente de los sistemas de digitalización por proyección es el reducido volumen operativo, restringido a uno o dos metros, por lo que no son válidos para trabajar con elementos de gran tamaño, como yacimientos o elementos arquitectónicos. Sin embargo, dentro del rango de trabajo en el que son operativos, estos sistemas ofrecen excelentes resultados en precisión y resolución, pudiendo obtener precisiones globales del modelo final de pocas décimas de milímetro en la digitalización de objetos de tamaños de más de un metro.

Estos sistemas, utilizados en combinación con otros sistemas de apoyo, como fotogrametría, guías de movimiento o marcadores ópticos, pueden ampliar el rango de medición de los objetos hasta un tamaño muy superior, pudiendo llegar a digitalizar tamaños de hasta unos diez metros.

Medición 3D por proyección láser

Los sistemas de digitalización 3D por proyección de luz láser se dividen en dos grupos fundamentales, en función de la metodología de medición y las aplicaciones que pueden cubrir cada uno: los sistemas de proyección de línea láser, con un rango operativo similar al de los sistemas de proyección de franjas, y los sistemas de proyección de punto, utilizados para la digitalización de grandes volúmenes.

Los sistemas del primer grupo, basados en la proyección de una línea de luz láser, son esquemáticamente similares a los de proyección de franjas. En ellos, se dispone de una fuente de luz láser que proyecta una línea sobre el objeto a medir que, mediante elementos mecánicos, barre el objeto a medir, y una cámara que recoge la deformación de dicha línea al proyectarse sobre el objeto a medir. Mediante análisis de imagen de la deformación de dicha línea según va desplazándose sobre la superficie del objeto, y teniendo parametrizado dicho desplazamiento, se obtiene la información geométrica del objeto a digitalizar.

El presente artículo se centra en los sistemas del segundo grupo, basados en proyección de punto, que son conocidos como escáneres láser. En estos sistemas, la medición se realiza proyectando un haz de luz láser puntual sobre la superficie del objeto a medir, obteniendo la distancia desde el sistema hasta dicho punto de proyección.

Para la obtención de una nube de puntos de alta densidad, el sistema de medida gira respecto a la vertical, mientras que un espejo hace girar el haz de luz láser que sale de la fuente, de forma que, con estos dos giros, se cubre toda la esfera de medición del sistema de digitalización.

Además, los sistemas de digitalización por escaneado láser permiten realizar una lectura de color de la escena escaneada, gracias a una cámara fotográfica de alta resolución que llevan incorporada, asociando coordenadas RGB al punto geométrico medido, mediante la proyección de las fotografías sobre la nube de puntos capturada.

Al igual que los sistemas de digitalización por proyección de franjas, la digitalización 3D de grandes volúmenes mediante el escaneado láser se realiza, de forma general, utilizando más de una captura. En este caso, a cada captura se le llama estacionamiento, y la unión y fusión de los diferentes estacionamientos, mediante software específico, permite obtener el modelo 3D completo de la escena.

Como en el caso de la medición por proyección de franjas, a partir de este modelo, y realizando

tareas de optimización, se obtiene un modelo 3D completo que contiene toda la información geométrica, y de color si se requiriera, de la escena.

Existen dos tipos de sistemas escáner láser, en función de la técnica utilizada para la medición de la distancia desde el sistema al objeto: los sistemas de tiempo de vuelo y los sistemas de medición de fase. En el caso de los sistemas de tiempo de vuelo, que son los analizados en el presente artículo, la distancia del punto medido al sistema de digitalización 3D se obtiene midiendo el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción, tras el rebote en un punto de la superficie del objeto a digitalizar, del pulso de luz láser emitido.

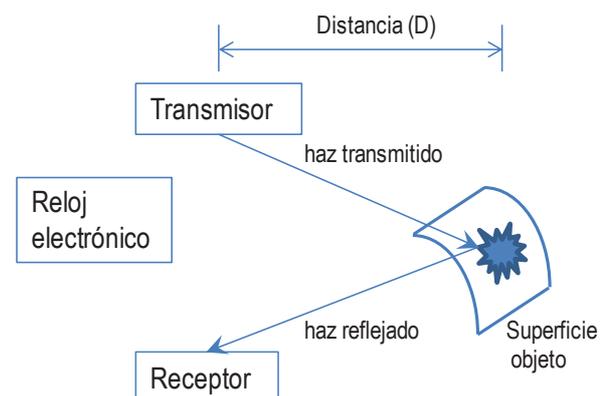


Figura 3. Esquema de un sistema escáner láser de tiempo de vuelo

El principal inconveniente de este tipo de sistemas radica en la baja resolución y precisión que proporciona en la medición, en comparación con los sistemas de corto alcance, y que esta suele estar en torno a unos pocos milímetros. Sin embargo, el rango de trabajo de este tipo de sistema es superior a los cien metros, por lo que el error relativo al volumen de trabajo es reducido, lo que hace que dichos valores de precisión y resolución sean más que aceptables para muchas aplicaciones relacionadas con yacimientos y arquitectura.

Dados esos valores de precisión y resolución, y teniendo en cuenta los rangos de volumen de trabajo, este tipo de sistemas son muy útiles para

la digitalización de escenas de tamaños a partir de unos diez metros.

A pesar de ser tan diferentes las prestaciones y rangos de trabajo de ambos tipos de sistemas de digitalización, los de proyección de franjas y los de escaneado láser, esto no significa que sean sistemas excluyentes o incompatibles, ya que dichas prestaciones los hacen complementarios, cubriendo cada uno las aplicaciones que el otro no puede alcanzar, por lo que el uso de ambos es idóneo para la digitalización de escenas tales como edificaciones antiguas con bajo relieves, así como tipos de escultura, o cualquier tipo de elemento de detalle que pueda poseer la edificación.

3. POST-PROCESADO Y GENERACIÓN DE ELEMENTOS VIRTUALES

Todo proceso de generación de modelos 3D tiene dos fases bien diferenciadas, la primera de ellas está dedicada a la captura de la información geométrica y de color (si su captura fuera necesaria), mediante el uso de sistemas de digitalización 3D como los anteriormente descritos, o bien sistemas basados en otros tipos de tecnologías, y una segunda fase dedicada al procesado de información obtenida, cuyo objetivo es la generación de un modelo 3D definitivo compatible con las aplicaciones posteriores para las que ha sido generado. El grado de dificultad y el coste en tiempo de esta última dependerá tanto de la información de partida, y por lo tanto de la tecnología seleccionada para realizar la digitalización 3D, como del objeto 3D entregable que se ha de generar y la aplicación posterior para la que irá enfocado.

El procesado de la información se divide en dos partes, en la primera de las cuales se realizan las tareas de alineación y fusión de las diferentes capturas realizadas, cuyo objetivo es la generación de un modelo 3D único que contenga toda la información geométrica (y de color, si se ha realizado su captura). En la segunda parte se realizan las tareas de post-procesado, tanto para la eliminación de errores o

información redundante como para la optimización del modelo final de cara a aplicaciones posteriores, y cuyo objetivo es hacer que el modelo 3D final sea hermético y esté listo para ser trasladado a la siguiente aplicación.

Hay dos tipos fundamentales de presentación de la información 3D, mediante visualización del propio modelo o mediante el uso de vídeos. En el primer caso, el objetivo final del procesado es la generación de un modelo 3D de alta calidad que, posteriormente, será visualizado mediante un explorador web. En este caso, el propio explorador web incorpora las herramientas de visualización propias de un software 3D, como son el zoom, el desplazamiento y el giro del modelo, de forma que el usuario pueda ver todos los detalles del mismo como si tuviera el modelo delante.

Este tipo de aplicaciones son totalmente interactivas y en ellas el usuario puede manipular la visualización del modelo de forma totalmente libre, centrándose en los detalles que desee. Este método de presentación es útil para visualización tanto de piezas de museo como de lugares y entornos, como yacimientos o edificaciones.

En el segundo tipo de presentación de la información 3D, el objetivo final es la generación de un vídeo o ruta de visualización, cuyo contenido es un recorrido virtual sobre un lugar o entorno, que puede ser una parte de un museo, o una escena completa como un yacimiento, una edificación, etc. Esta visita virtual se realiza a través de programas de edición de vídeo, en las que una cámara virtual se va desplazando sobre una ruta definida sobre el modelo 3D de la escena, mostrando todos los detalles de interés, que se han definido previamente a la generación de dicho vídeo.

En este tipo de visualizaciones se suele incluir información gráfica, como comentarios o imágenes, que se superponen al vídeo y que añaden información relevante a la escena, como forma de complementar la visualización de la escena.

Este tipo de aplicaciones no son interactivas, ya que se basan en la visualización de una ruta predeterminada sobre el lugar seleccionado, de forma que el usuario solo puede visualizar aquello que se ha definido de antemano en la elaboración del vídeo. Este método de presentación es útil para la visualización de lugares, como secciones completas de museos, pero aunque se puede utilizar para la visualización de elementos de museo como esculturas o cuadros, no es la opción más útil, ya que son elementos más pequeños y de mayor detalle, por lo que es más interesante para el usuario poder disponer de una aplicación que permita al usuario interactuar con la obra y centrarse en los detalles que desee.

La principal ventaja de este tipo de aplicaciones es que van centradas a modelos 3D de gran peso (la digitalización de un entorno puede generar modelos de varias decenas o incluso centenares de millones de puntos), que en muchas ocasiones no es manejable por los programas de visualización habituales y solo se puede visualizar en formato de vídeo.

4. CASOS DE ESTUDIO

En este apartado se presentarán dos casos prácticos, cada uno de ellos basado en la medición 3D utilizando las dos tecnologías desarrolladas en apartados anteriores, la proyección de franjas y el escaneado láser de largo alcance.

Proyecto MUSEUM 3.0

El primer caso práctico es el resultado de las tareas desarrolladas dentro del proyecto MUSEUM 3.0. Este proyecto, financiado por el programa "Avanza Contenidos de Interés Social" del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, ha tenido como objetivo el desarrollo de una aplicación digital interactiva basada en TICs que posibilite la difusión y el conocimiento del arte y la cultura de una forma interactiva, como forma de impulsar el flujo y la generación de contenidos digitales, así como la

difusión y conocimiento de la cultura basado en el uso de internet.

Dentro de este proyecto, una de las obras seleccionadas para la realización de las tareas de digitalización ha sido una escultura de la cultura Tiahuanaco de Bolivia, tallada en piedra andesita, con unas dimensiones aproximadas de 600x200x200 mm. El proceso de digitalización 3D de esta obra ha incluido la captura de color de la misma, y ha sido realizada con un sistema de digitalización 3D por proyección de franjas.

El resultado del proceso de digitalización 3D, tras la realización de las tareas de post-procesado, ha sido una malla poligonal de un tamaño aproximado de un millón de polígonos.



Figura 4. Obra física y modelo resultado de la digitalización 3D de la escultura medida en el museo arqueológico de Valencia.

Este modelo 3D ha sido utilizado como elemento base para la generación de un archivo de visualización 3D vía web, basado en el formato X3D (que es una evolución del formato VRML), visualizable a través de exploradores web, sobre el que se pueden realizar operaciones de visualización típicas de aplicaciones 3D como

realizar zoom, girar y desplazar, en la propia aplicación web del museo.

Proyecto ARCHEOMED

El segundo caso práctico mostrado se centra en parte de las tareas realizadas dentro del proyecto europeo ARCHEOMED, financiado por el programa ENPI-CBC-MED “European Neighbourhood and Partnership Instrument Cross-Border Cooperation in the Mediterranean”, y cuyo objetivo es promover el desarrollo y la interacción de las instituciones de gestión de los yacimientos arqueológicos y las autoridades culturales, garantizando un amplio acceso de la población al potencial histórico-cultural del territorio, para lo cual se pretende poner en valor yacimientos subestimados e infravalorados "minor sites", a través del uso, entre otros, de contenidos virtuales de tipo 3D.

Dentro de este proyecto, se pretende dar un valor tecnológico añadido a través de la realización de digitalizaciones 3D de yacimientos arqueológicos y de la creación de recorridos virtuales de estas digitalizaciones como herramienta innovadora para promocionar y revalorizar las áreas locales cercanas a estos yacimientos.

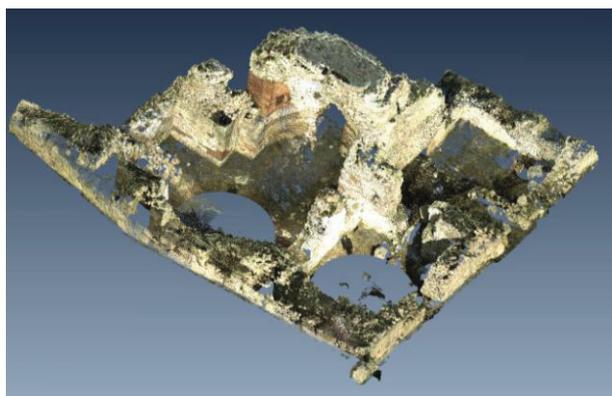


Figura 5. Nube de puntos del yacimiento de Vito Soldano, en Sicilia.

Dentro del proyecto Archeomed, uno de los yacimientos digitalizados ha sido el yacimiento romano de Vito Soldano cerca del municipio de Canicattì (Sicilia). El yacimiento corresponde a los restos de unas antiguas termas romanas,

datadas alrededor del siglo III-IV de nuestra era. El área digitalizada ha sido de aproximadamente 625m², obteniéndose un modelo final, tras el proceso de optimización y de reducción, de seis millones de puntos.



Figura 6. Nube de puntos de la terma del yacimiento de Vito Soldano.

Los trabajos de digitalización se llevaron a cabo con un escáner láser de tiempo de vuelo, las tareas de gestión y optimización de la nube de puntos se realizaron con un software específico para gestión de grandes nubes de puntos y el recorrido virtual de alta calidad se realizó con un programa específico de animación y renderizado, obteniéndose como resultado final un video en HD para su difusión en la página web del proyecto.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente artículo se han mostrado los resultados, obtenidos en diferentes proyectos, de la generación de modelos virtuales para la difusión del patrimonio cultural. La principal ventaja de este tipo de aplicaciones es que permite acercar dicho patrimonio a personas, tanto profesionales como particulares, sin que estas estén presentes físicamente en la localización del mismo. De esta forma, en el caso de los museos, se puede acercar su contenido a personas que no se encuentran en la ciudad del mismo y, en el caso de profesionales, no necesitan desplazarse para realizar tareas de investigación o análisis sobre el mismo.

Protecto MUSEUM 3.0

Como resultado de las tareas de digitalización 3D llevadas a cabo dentro del proyecto Museo 3.0, se han obtenido modelos 3D virtuales de diferentes obras de referencia, entre las que destaca la estatua descrita en el presente artículo, en apartados anteriores.

El desarrollo del proyecto ha derivado en la generación de un directorio de almacenamiento de modelos 3D. Dichos archivos son visualizables a través de exploradores web estándar, de forma que cualquier usuario puede acceder a la información desde un punto remoto, accediendo tanto a información geométrica, con todo grado de detalles, como de color. De esta forma, se puede hacer una visualización virtual de la obra como si se estuviera presente en el museo, sin necesidad de estar presente en la ciudad.

Esto no implica una reducción de la afluencia de público al museo, sino que va a permitir que personas que no están en la ciudad del museo puedan acceder al patrimonio que este posee, y en el caso concreto de la obra mencionada, permitirá llevar la obra y su historia a una mayor cantidad de personas, gracias a la gran capacidad de difusión que tiene hoy en día la red de internet.

Proyecto ARCHEOMED

Como resultado de las tareas de digitalización 3D realizadas dentro del proyecto Archeomed, se ha generado una base de datos inicial de modelos 3D de las regiones participantes en el proyecto.

Como parte de la filosofía de dicho proyecto, esto solo es el paso inicial hacia la generación de

modelos 3D virtuales de los yacimientos de tipo "minor sites", que pretenden revalorizar, cultural y económicamente, las regiones en las que se encuentran. De esta forma, los modelos 3D de los yacimientos digitalizados, y los videos asociados, permitirán acercar al público mundial en general, potencialmente turistas, los yacimientos existentes e incrementar el interés por estas regiones, ayudando a incrementar el flujo de turismo.

De esta forma, los videos, repletos de información complementaria mientras se visualiza virtualmente el yacimiento, permitirán tener un primer contacto entre el público en general y el yacimiento, que llevará a una mayor afluencia turística.

AGRADECIMIENTOS

Desde AIDO, se agradece su colaboración y apoyo a los miembros de los consorcios involucrados en las tareas realizadas dentro de los proyectos, el Museo de Prehistoria de Valencia en el caso del proyecto Museum 3.0 y las universidades de Yarmuk, Al-Quds y Polo di Agrigento en el caso del Proyecto Archeomed.

Desde AIDO, también se agradece al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, que ha financiado el proyecto Museum 3.0 a través de su programa Avanza Contenidos de Interés Social, y a la Unión Europea, que ha financiado el proyecto Archeomed a través de su programa ENPI-CBC-MED "European Neighbourhood and Partnership Instrument Cross-Border Cooperation in the Mediterranean".

REFERENCIAS

GRANERO Luis, DE GRACIA Vicente (2004): "Técnicas de digitalización tridimensional basadas en luz estructurada" Proceedings del II Congreso Diseño, Tecnologías e Ingeniería de Producto. 5 -7 de Mayo. Valencia, España.

GRANERO Luis, DÍAZ Francisco, DOMÍNGUEZ Rubén, Hervás J., et al (2009): "Application of optical techniques in documentation and identification of archaeological rests: the case study of the



roman bronze rest found in Lucentum” in *Proceedings of SPIE Volume 7391, O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II*, 73910B (July 07, 2009); doi:10.1117/12.827536

GRANERO L., SANCHEZ J., MICÓ V., ESTEVE-TABOADA J. J., et al (2007): “3D Digitising using Structured Illumination: Application to Mould Redesign” in *Proceedings of SPIE Volume 6616, Optical Measurement Systems for Industrial Inspection V*, 66164B (June 18, 2007); doi:10.1117/12.726641

HUNTLEY, Jonathan M (1998): “Automated fringe pattern analysis in experimental mechanics: a review”. *J. Strain Anal Eng Des*, 33 (2).

PAGÉS Jordi, SALVI Joaquim, GARCIA Rafael, MATABOSCH Carles: “Overview of coded light projection techniques for automatic 3D profiling”. *Proceedings of the 1003 IEEE International Conference on Robotics & Automation*. Taipei, Taiwan. September 14-19, 2003.

SALVI Joaquim, PAGÉS Jordi, BATLLE Joan (2004): “Patern codification strategies in structures light systems”. *Patern Recognition* 37 (2004).