

Esquivel F.J. / Alarcón, L. / Fernández M.I. / Esquivel, J.A., El 3D scanner de luz estructurada y la cinematografía histórica, *Metakinema. Revista de cine e historia*, nº 24, 2020, pp. 93-105.

METAKINEMA Revista de Cine e Historia
Número 24 2020 (ISSN 1988-8848)

Sección 5.3 Reflexión en torno a...

EL 3D SCANNER DE LUZ ESTRUCTURADA Y LA CINEMATOGRAFÍA HISTÓRICA

The 3D structured light scanner and history films

Dr. Francisco J. Esquivel
Matemático
Universidad de Granada

Lcda. Laura Alarcón
Arqueóloga
Universidad de Granada

Dra. María Isabel Fernández
Arqueóloga
Universidad de Granada

Dr. José A. Esquivel
Matemático
Universidad de Granada

Recibido el 12 de Febrero de 2020
Aceptado el 20 de Abril de 2020

Resumen. La utilización de las nuevas tecnologías aplicadas a distintos campos de la actividad humana está revolucionando la forma en la que se percibe el mundo. Las tecnologías más recientes se enfocan modelos tridimensionales realizados mediante 3D scanners o en base a fotogrametría. Por otra parte, la aparición de las nuevas tecnologías está propiciando un desarrollo exponencial en disciplinas científicas como Arqueología y Antropología, aplicaciones industriales para construir objetos 3D, etc. Además, estas nuevas tecnologías han traído un aumento espectacular de efectos especiales en forma digital, ya sea a través de los efectos digitales y aquellos que también incluyen objetos y estructuras

realistas mediante procesos como “match moving”, que permiten insertar objetos virtuales en las películas que detallan el movimiento de la cámara usando un ordenador.

Palabras clave. Nuevas tecnologías, Efectos especiales, 3D, Arqueología, Cine histórico.

Abstract. The use of new technologies applied to different fields of human activity is modifying the way to perceive the world. Recent technologies are focused on three-dimensional models obtained by means of 3D scanners or based on photogrammetry. The emergence of new technologies is providing an exponential development in scientific disciplines such as Archeology and Anthropology, industrial applications to construct 3D objects, etc. These improvements are now applied to create digital special effects. Therefore, realistic objects and structures are created and recreated by means of processes such as “match moving”, allowing the insertion of virtual objects in the movies detailing the movement of the camera.

Keywords. New technologies, Special effects, 3D, Archaeology, History on Screen.

Introducción

En los últimos años, la expansión de las nuevas tecnologías a prácticamente todos los campos de la sociedad moderna junto a su crecimiento exponencial ha propiciado, desde mediados de los 80's, su incorporación la disciplina arqueológica como un elemento indispensable en la excavación, la investigación, la docencia y la difusión. Su influencia está revolucionando la sociedad en todos los aspectos (científico, económico, social, comunicaciones, etc.) de una forma exponencial, incluyendo juegos, películas, etc.

El uso de las técnicas digitales en la Arqueología ha transformado el trabajo arqueológico, propiciando el surgimiento de la “Arqueología Digital”. En cuanto al hardware, la aparición de equipos cada día más potentes y con mayores prestaciones, más asequibles y fáciles de manejar, con precios cada día más reducidos, el desarrollo de Internet, etc. ha propiciado un aumento exponencial de las aplicaciones digitales. Además, la integración de otras tecnologías que, aun no siendo básicamente informáticas, generan métodos y procedimientos dichas disciplinas aplicados a la investigación arqueológica, y que se apoyan en los avances de los desarrollos informáticos. Así, los grandes avances tecnológicos son de gran importancia en investigaciones como análisis de ADN, utilización de UAV (Unmanned Aerial Vehicles, o drones), la obtención de planimetrías y prospecciones superficiales, la aplicación de los scanner 3D *low range* y la fotogrametría en la creación de modelos tridimensionales, los scanner 3D *long range* basados en ecos aplicados a grandes edificios y como sensores aéreos (obtención de modelos LIDAR o *Laser Imaging Detection and Ranging*), análisis de datos mediante espectroscopía de reflectancia de fibra óptica (FORS), métodos de análisis (*big data* y *chemometrics*), uso de georrádar para obtener información relevante del subsuelo, etc. No hay que olvidar la reciente aparición de aplicaciones industriales y de estudio mediante impresoras 3D y máquinas de prototipado rápido, que han comenzado a aplicarse al mundo de la Arqueología con distintos objetivos y resultados.

Además, el desarrollo de Internet y del mundo virtual está propiciando numerosas aplicaciones en el ámbito de otras ciencias con aplicaciones en los estudios arqueológicos como los GIS, la realidad virtual, las aplicaciones industriales (escáneres, impresoras 3D y máquinas de prototipado rápido), etc. que han comenzado a integrarse en la investigación arqueológica. La versatilidad de las nuevas tecnologías permite la documentación completa y la integración del material de los distintos niveles arqueológicos y de los artefactos asociados a ellos en proyectos que utilizan las tecnologías digitales para obtener documentación más detallada (Doneus *et al.* 2003), sin olvidar la sistematización

de los análisis métricos y morfométricos, el aumento de la precisión de análisis y planimetrías, la incorporación de nuevos métodos como los GIS, etc. (Grosman et al. 2008; Morales et al. 2015; Benavides et al., 2016).

Los modelos digitales son ampliamente utilizados en reconstrucciones y musealizaciones virtuales (Kuzminsky and Gardiner 2012) ligados al desarrollo de la realidad virtual (VR) permitiendo la interacción entre el público, los materiales arqueológicos y el escenario contextual (Barceló et al. 2000; Lepouras and Vassilakis 2005; Bruno et al. 2010). En este sentido, las impresoras 3D o de prototipado rápido resultan un valor añadido, ya que permiten la obtención de modelos que conectan la realidad material con la realidad virtual mediante la creación de réplicas de gran precisión a distintas escalas. Estos modelos digitales muestran toda su utilidad para realizar propuestas realistas de restauración virtual, e incluso para monitorizar dicho proceso en elementos complejos, incluyendo su aplicación para la conservación del patrimonio cultural, llevando a cabo tomas periódicas para estudiar las alteraciones que pueden poner en peligro su conservación (p.e. la prevención en el teatro romano de Pinara, en el suroeste de Turquía, situado en una zona de peligro sísmico) (Hinzen *et al.* 2013).

Modelos digitales aplicados a la investigación de la cerámica. El ejemplo de la *sigillata*

El uso exponencial de los modelos digitales se explica, en parte, por el delicado estado de conservación de gran parte del registro fósil perteneciente a tiempos tan remotos. Esto se suma a lo disperso de las evidencias patrimoniales en toda la Tierra, lo que dificulta y restringe el acceso al material original a gran parte de los investigadores, y por descontado al alumnado y público en general. En general, las colecciones de referencia son una herramienta fundamental en las ciencias naturales y sociales pero especialmente en Arqueología, donde la identificación de artefactos, estructuras, restos de fauna, pólenes y otros materiales es una componente básica del análisis (Esquivel et al. 2014).

Las aplicaciones de los 3D scanner a los artefactos arqueológicos ha experimentado un aumento importante debido, fundamentalmente, a la facilidad de la toma de datos (X, Y, Z), tanto en grandes estructuras (*long range*) como en artefactos de menor tamaño (*low range*). Así se ha llevado a cabo modelo del teatro romano de Acinipo (Ronda, Málaga) (Esquivel et al. 2007), un modelo 3D mediante drones en la necrópolis megalítica de Panoria (Benavides et al. 2016) o la aplicación de los ecos de un scanner *long range* en los estudios arqueológicos (Esquivel et al. 2012). Además, se han creado colecciones de referencia para el estudio y difusión de la evolución humana (centro “David H. Koch Hall of Human Origins” en el Smithsonian National Museum of Natural History en Washington D.C.) lo que, junto a la realización de réplicas de los cráneos fósiles, siempre ha formado parte del proceso de estudio paleoantropológico virtual (Sholts et al. 2011; Weber y Bookstein 2011; Esquivel et al. 2018).

No se encuentran muchos trabajos en el campo de la cerámica, aunque existen aplicaciones a vasos carenados calcolíticos (Esquivel et al. 2007) y vasos argáricos (Esquivel et al. 2008), en el desarrollo de un sistema automático de clasificación y reconstrucción de fragmentos de cerámica (Kampel and Sablatnig, 2007) o el análisis de la forma y los aspectos geométricos de los artefactos cerámicos (Karasik and Smilansky, 2008). En el campo de la *sigillata* los estudios son más recientes (Esquivel et al. 2015) y, en general, no existen demasiados ejemplos de aplicaciones, o las técnicas 3D se utilizan en contextos de época romana pero aplicados al estudio de materiales no cerámicos, fundamentalmente estatuas (Serrano et al. 2015).

En este trabajo se plantean las bases metodológicas del funcionamiento de los modelos digitales 3D aplicados a la *sigillata*, planteando aspectos como fundamentos teóricos, aspectos técnicos, metodología de aplicación, etc. Estos resultados serán la base para el diseño y la implementación informáticas de una ceramoteca de artefactos de *sigillata* paralela a la Craneoteca desarrollada en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada por tres de los autores de este trabajo (Alarcón et al. 2017; Esquivel et al. 2018).

Materiales y métodos

La colección básica está constituida por los fragmentos de *sigillata* hispánica encontrados en las excavaciones de Isturgi (Los Villares de Andújar, Jaén) que proporcionan la evidencia de que este yacimiento constituye un centro de producción de cerámica de gran importancia en Andalucía. Estos fragmentos se han modelizado digitalmente para desarrollar un método de utilidad en la investigación arqueológica, en la reconstrucción de los vasos y en la enseñanza de la cerámica romana, ya sea *sigillata* o cerámica común, en entornos universitarios y no universitarios, además de proporcionar una documentación completa de la pieza y ser una ayuda básica en la construcción de réplicas.

El método utilizado ha sido la aplicación de un scanner 3D de luz estructurada *low range* Artec 2000 que permite la captura de la forma y las características de un objeto (color, textura, medidas, etc.) mediante la proyección de un patrón de luz que recubre la pieza registrando los puntos de la superficie del objeto en un sistema de coordenadas tridimensional (X,Y,Z). Este scanner se basa en enviar un haz de luz hacia un objeto mediante la proyección de un patrón de luz para detectar la reflexión que genera el objeto y registrar las coordenadas de una gran cantidad de puntos, además de su registro en un sistema de adquisición para así detectar la reflexión que genera el objeto (escáneres activos). A partir de los puntos se generan mallas de triángulos que se recubren con la imagen en color del objeto con una resolución de 1280x800 mediante la cámara digital que lleva incorporada y que permite el ajuste entre el modelo de mallas y la textura del objeto utilizando color real (16.7 millones de colores). Es importante destacar que es un proceso muy rápido (la velocidad de captura oscila entre 7 y 15 fotogramas por segundo) trabajando de manera óptima en un rango de distancia comprendido entre 0.40 y 2 metros y con una resolución mínima de 0.5 milímetros, una precisión en la adquisición de 0.1 mm y un error de 15% en 100 metros, lo que proporciona una excelente relación precisión/distancia y una distorsión muy pequeña (ARTEC 2018)

Entre sus ventajas destacan su escaso peso, la rapidez en el escaneo completo (15 minutos aprox. para un vaso completo), la versatilidad de uso (los distintos escaneos de un objeto los recoge y registra georreferenciados a escala 1:1), la facilidad de manejo del software (edición, borrado, relleno de huecos, etc.), las herramientas de análisis aplicadas al modelo completo (distancias, perímetros, volúmenes, geodésicas, secciones, etc.). Además, la portabilidad del sistema permite llevar a cabo el trabajo arqueológico en interiores, exteriores y en trabajos de campo (su peso aproximado es de 1.5 Kg).

El software utilizado es ARTEC 13 Studio, que incorpora de una forma integrada los comandos de adquisición y los trabajos previos a la modelización (depurado, etc.), además de integrar las operaciones necesarias para el registro, tratamiento, fusión y almacenamiento de los datos y resultados, además de algoritmos de registro y fusión muy robustos y eficientes para la creación de un modelo preciso y completo (de malla o incluyendo textura). Este proceso es muy rápido y, al no tener contacto con la pieza, origina una mínima distorsión en el objeto, lo que convierte a este método en un importante instrumento para la documentación del material arqueológico.

Fundamento de los scanners 3D de luz estructurada

Un scanner de luz estructurada es un dispositivo de adquisición automática de coordenadas tridimensionales (X,Y,Z) que permite construir modelos muy precisos de objetos reales 3D de una manera rentable en esfuerzo y tiempo, capaz de capturar la forma y las características de un objeto calculando las coordenadas tridimensionales X, Y y Z de los objetos en el rango espacial que se desee. Mediante la proyección de un patrón de luz y su registro en un sistema de adquisición, usualmente una cámara fotográfica, se obtienen las coordenadas de varias nubes de puntos que cubren al objeto en estudio determinando un sistema de coordenadas cartesianas, la geometría del mismo y la textura (Lanman 2007; Hobbel 2015) (Fig. 1):

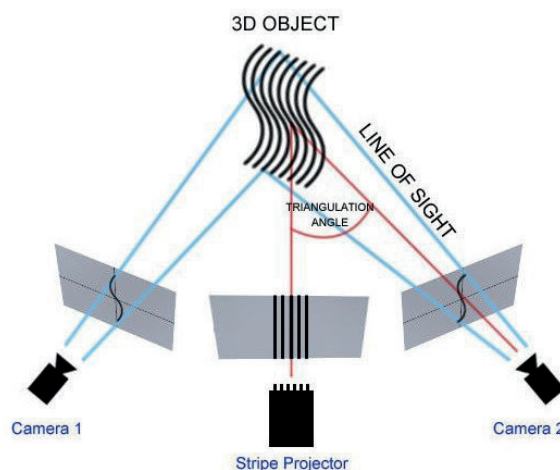


Figura 1. Funcionamiento de un scanner 3D de luz estructurada.

Existen dos métodos básicos de llevar a cabo un modelado: el método por interferencia **láser** y el método por proyección. El primero trabaja con dos fuentes de luz y una cámara que proyectan dos patrones de rayas regulares y equidistantes entre sí, lo que produce una adquisición más precisa, aunque el método es costoso y el haz puede interferir con las partes reflejadas de otras zonas del objeto. El método por proyección utiliza luz incoherente generando patrones en un LCD, permitiendo trabajar con intensidades muy altas de luz.

El análisis del patrón de las rayas permite reconstruir la imagen a partir de la reflexión del objeto, ya que los desplazamientos de las rayas se convierten en coordenadas 3D que incorporan la profundidad relativa del píxel respecto los pixeles vecinos y así se puede reconstruir el objeto tridimensional. Este análisis se lleva a cabo mediante técnicas matemáticas complejas que combinan técnicas de reconocimiento de patrones, códigos de Gray y transformada de Fourier (Lanman 2007; Hobbel 2015).

Puesto que las características del hardware utilizado limitan la resolución del conjunto, la resolución óptica, básicamente, junto a la anchura y calidad óptica de las rayas, por lo que la precisión del haz de luz es un aspecto esencial. Además, las limitaciones de longitud de onda de la luz y las limitaciones técnicas de la cámara y la pantalla (profundidad de campo, resolución, etc.) también influyen bastante. Por otra parte, para obtener un modelo tridimensional es necesario combinar las diferentes medidas para diferentes ángulos.

Adquisición de datos y metodología de trabajo

Aunque en trabajos de pequeñas dimensiones es suficiente registrar un pequeño número de escaneos (entre 5 y 10 *scans* en objetos de hasta 2x2 metros), para construir un modelo 3D de detalle, sobre

todo en el campo del patrimonio o de la industria de la exhibición (museos, cinematografía, etc.), es preciso recubrir el modelo desde distintos puntos de vista. La construcción de estos modelos exige disponer de un hardware de precisión, el registro de una gran cantidad de escaneos, además de un software que permita registrar y fusionar los escaneos y la superposición de la textura.

En este trabajo los datos se han adquirido utilizando un escáner ARTEC 3D 2000 de luz estructurada con las características (Gilboa et al. 2013; Serrano et al. 2015) (Tabla 1):

Tabla 1. Características del 3D scanner ARTEC 2000.

ARTEC 2000
Resolución 1280x800 píxeles
Capture rate (7-15 frames/second)
Distancia (0.40 a 2 m)
Error máx. 0.5 mm
Color 24 bits

El proceso de digitalización mediante el scanner ARTEC 2000 y la computación con el software ARTEC 13 Studio consta de diferentes fases que deben realizarse ordenadas, aunque el proceso presenta un alto grado de automatización. En primer lugar, se estableció un protocolo funcional y eficiente que optimizaba este proceso y permitía obtener resultados homogéneos con independencia del operador. La metodología de escaneo se diseñó colocando el objeto a escanear en una plataforma estática y girando el escáner alrededor del mismo puesto que el haz de luz es lo suficientemente energético para trabajar en condiciones de luz ambiental desfavorables. En cada escaneo se ha controlado la distancia entre el escáner y el objeto para no sobrepasar los límites además de la inclinación y la velocidad del movimiento para optimizar el número de escaneos del objeto, logrando aumentar la eficiencia y eficacia del proceso (Fig. 2).



Figura 2. Scanner Artec 2000 color.

Todas las operaciones de modelado se llevan a cabo en el entorno del software ARTEC Studio 2013, que está organizado en menús ordenados en base a las operaciones a realizar. Así, en primer lugar se lleva cabo el escaneado del objeto o fragmento de material visualizando la textura y la geometría, girando el objeto y capturando cualquier región que no se haya escaneado hasta cubrir todo el fragmento. Posteriormente, se eliminaron los elementos ajenos al objeto, borrando zonas como la mesa o el suelo con las herramientas de transformación que incluyen mover, escalar, suavizar, además de eliminar ruido y eliminar objetos en 2D y 3D no deseados (Fig. 3a, 3b).



Figura 3. Escaneo realizado del la Venus venera del Salar utilizando un único scan:
a) registro original incluyendo la textura, b) scan fusionado sin la textura.

Una vez eliminados los puntos en todos los *scans* que compondrán el modelo, es necesario llevar a cabo la unión de todos ellos asociando cada pareja de *scans* mediante puntos homólogos en cada una de las dos tomas mediante la alineación de los *scans*. A partir de la versión 10 de ARTEC Studio, todas las operaciones pueden realizarse de forma manual o automática lo que, realmente, simplifica el proceso reduciéndolo casi únicamente a llevar cabo una buena toma de datos (*scans*) ya que el resto lo realiza ARTEC Studio (como ejemplo se muestra la alineación dos *scans*).

La alineación de dos *scans* se lleva a cabo mediante el algoritmo de alineación que utiliza la identificación de tres puntos homólogos en ambos *scans* para proceder a ajustar el modelo creado por estos dos *scans* en la forma (Fig. 4b y 4b).

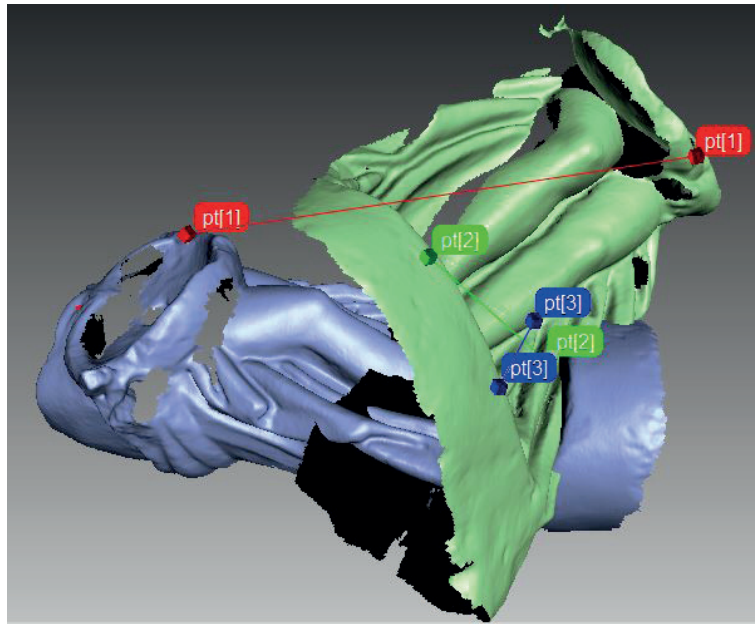


Figura 4. Alineación manual de dos scans: a) asociación de puntos homólogos, b) fusión de los scans sin la textura.

Posteriormente se van añadiendo y alineando los *scans* hasta que el modelo esté completo. Entonces comienza la integración de los *scans* en una única cobertura, se añade la geometría y se fusionan en un único modelo mediante la aplicación sucesiva de los algoritmos “serial registration”, “global registration”, “outlier removal”, “fusion”, “small object filter” y “mesh simplification”. Posteriormente se optimizan las posiciones de todos los marcos en un sistema de coordenadas global además corregir errores y fallos del alineamiento (Serrano et al. 2015) (Fig. 5):



Fig 5. Modelo 3D de la Venus venera del Salar.

Los escaneos originados deben integrarse en un modelo geométrico único mediante un algoritmo que interpola entre múltiples vistas, formando un único modelo 3D en base a triángulos en una malla “mesh” y eliminando posibles defectos del modelo 3D (filtro de *outliers*, rellenado de pequeños agujeros y alisado de superficies) (Fig. 5). Desde un punto de vista informático, el modelo obtenido puede exportarse a una gran variedad de formatos de modelos 3D, siendo los más usuales los formatos .PLY y .OBJ.

La reconstrucción digital 3D de objetos

A partir del modelo digital surge un abanico de posibilidades de actuación que se enfoca a realizar modelos más o menos sofisticados en función del nivel de precisión exigido. En general se basan en utilizar la nube de puntos que origina el modelo 3D para reconstruir, mediante técnicas CAD, el o los objetos de que se trate. Así, en base a un artefacto incompleto (un vaso en *sigillata* ibérica excavado en el yacimiento romano de Isturgi, Los Villares de Andújar), las herramientas del software 3D permiten obtener el perfil del fragmento a partir del modelo 3D (Fig 6a y 6b):



Figura 6. Terra sigillata hispánica: a) modelo tridimensional, y b) perfil del fragmento.

Posteriormente, en base al perfil CAD, se reconstruye el objeto reconstruyendo el objeto digitalmente a partir del enlace de los datos 3D como nube de puntos y el software CAD. Este proceso posibilita realizar una aproximación al objeto mediante el desarrollo de un cuerpo de revolución que, al tratarse de una cerámica a torno, se ajusta bastante al objeto real (Fig. 7a y 7b):

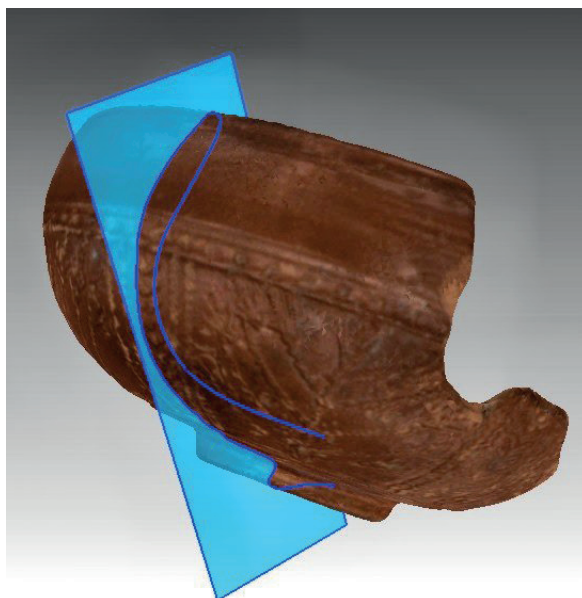


Figura 7. Terra sigillata hispánica: a) perfil del fragmento, y b) malla 3D del cuerpo de revolución.

Además, la utilización del software asociado al scanner permite realizar el cálculo de medidas de distancias entre dos puntos (en línea recta o a través de una geodésica), obtención de gran número de secciones en cualquier dirección o calcular el mapa de distancias-superficie de un objeto manufacturado a mano o a torno (Esquivel et al. 2007; Esquivel et al. 2008).

Los modelos 3D y la cinematografía

Desde sus comienzos el cine, debido a que posee características como elemento divulgador y de entretenimiento, ha constituido un medio de comunicación muy importante y, desde hace bastante tiempo, se considera que es el “Séptimo Arte” (Aumont 1995). Y el intento de conseguir un realismo cada vez mayor ha llevado a una gran especialización en todos los aspectos, sobre todo en las construcciones cada vez más realistas de decorados, escenarios, materiales (inventados o no), etc.

La aparición de las nuevas tecnologías ha traído consigo un aumento espectacular de los efectos especiales producidos de forma digital, haciendo cada vez más difícil poder realizar la distinción entre efectos reales y efectos digitales. En este sentido hay que distinguir entre modelos solamente digitales y modelos realistas diseñados mediante scanner 3D o fotogrametría. En el primer caso, los efectos especiales no exigen tener ninguna relación con la realidad y, aunque se busca que exista un contexto común, la adaptación a la realidad no tiene por qué ocurrir. Sin embargo, los modelos realistas, aunque pueden incluir objetos y estructuras puramente digitales, tienen mayor cercanía con la realidad al basarse en modelos reales e incluir restauraciones digitales de objeto, edificios, paisajes, etc. En este sentido, tanto los 3D scanners como la fotogrametría proporcionan un amplio abanico de posibilidades (Ryu 2007), aunque el scanner es más versátil, proporciona flexibilidad de uso y optimiza los recursos materiales y humanos.

La utilización de imágenes CGI (Computer Generated Imagery) ha crecido mucho en los últimos años gracias al empuje de la industria cinematográfica, de los grandes fabricantes de automóviles y de la industria de los videojuegos, y las imágenes renderizadas producidas tienen tal calidad que a simple vista no se pueden distinguir de una imagen fotográfica (Purse L. and Lewis 2016).

Una de las empresas más destacadas en Europa es *RISE. Visual Effects Studios*, compañía berlinesa que ofrece servicios profesionales de escaneado. Los trabajos realizados por RISE para producciones

nacionales e internacionales de cine crean imágenes que generan una ilusión perfecta en la pantalla, sobre si los métodos convencionales no proporcionan resultados totalmente satisfactorios, son más rápidos de crear o son más caros. Además, aportan una gran flexibilidad en la planificación para poder elegir posiciones de la cámara, longitudes focales, ayuda a la sincronización de los actores y determinar movimientos de la cámara por adelantado en la pantalla (Keil and Whisse 2016).

Un campo en el que los scanner 3D constituyen un aspecto esencial es el “*match moving*”, proceso mediante el que los objetos virtuales se insertan en las películas detallando el movimiento de la cámara mediante un ordenador. En este proceso, el scanner 3D posibilita utilizar la geometría espacial asignando los puntos a la geometría, obteniendo no solamente un movimiento de la cámara más rápido, sino también mejorar algunos aspectos tales como el cálculo preciso de las opciones de iluminación.

La combinación de ordenadores, scanner 3D e imágenes realizadas mediante la técnica HDR (High Dynamic Range) permiten llevar a cabo proyecciones sobre geometrías complejas. El desarrollo de un LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) con iluminación HDRI permite un procesamiento optimizado y más eficaz (Jackson, 2016).

Conclusiones

El reciente desarrollo de las tecnologías 3D permite generar modelos de nube de puntos (X,Y,Z) de distintos objetos del Patrimonio Histórico (artefactos, estatuas, teatros y anfiteatros, palacios, etc.) en base a su registro mediante distintas tecnologías basadas en los scanner laser y la fotogrametría. El proceso se basa en la adquisición de la nube de puntos que delimita la superficie del objeto mediante laser de luz estructurada *low range*, laser *long range* de infrarrojos o utilizando la fotogrametría digital. En función de las características del objeto (dimensiones, tipo de material, interacción con la luz, etc.) y del objetivo de la investigación será necesario utilizar una u otra técnica o, incluso, una mezcla de varias de ellas.

Los 3D scanner laser de luz estructurada proporcionan grandes ventajas en cuanto a rapidez, flexibilidad, automatización del software, portabilidad y precisión para la modelización de objetos y estructuras arqueológicas, y su utilización se está extendiendo prácticamente a todos los ámbitos (investigación, enseñanza, industria, construcción, reconstrucción, manufactura, etc.). La utilización del 3D scanner asociado a la transmisión vía Internet está revolucionando casi todos los ámbitos de la educación y la industria, y son una herramienta cada vez más importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje, la formación y el inicio en la investigación, debido a la posibilidad de interactuar con los modelos tridimensionales.

El proceso de modelado sigue pautas idénticas con independencia del material de que se trate en base a una metodología general: adquisición de los *scans* que cubren el objeto, depuración del objeto eliminando las partes que no interesan, alienación de los *scans* que conforman el modelo y fusión de los escaneos en formato malla. Posteriormente se le añade la textura, registrada mediante distintas imágenes en las zonas en que aparecen diferencias entre los escaneos, obteniendo así un modelo 3D completo que enlaza las características espaciales del objeto: escala, características geométricas y textura. Por este motivo, el uso de los modelos digitales 3D constituye una de las tecnologías con mayor expansión y mayor número de campos de aplicación.

Notas

(1) El presente trabajo ha contado con el soporte del Proyecto de I+D “Producción y adquisición de cerámicas finas en el proceso de configuración de las comunidades cívicas de la Bética y la Hispania Meridional durante el Alto Imperio Romano (HAR2016-75843-P)”, Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Este trabajo se ha realizado con el soporte y la tecnología de “LABMA 3D. Laboratorio de Modelización Arqueológica 3D de la UGR”. Universidad de Granada.

Bibliografía

ARTEC. *Artec Studio 12 User's Guide*, <http://docs.artec-group.com/as/12/en>, consultada 30/10/2018.

AUMONT J., *Historia general del cine*, Cátedra, Madrid, 1995.

BENAVIDES J.A., ARANDA G., SÁNCHEZ M., ALARCÓN E., FERNÁNDEZ A., LOZANO J.A., ESQUIVEL J.A., “3D modelling in archaeology: The application of Structure from Motion methods to the study of the megalithic necropolis of Panoria (Granada, Spain)”, *Journal of Archaeological Science: Reports* 10 (2016), 495-506.

BARCELÓ A., FORTE M., SANDERS D.H. (eds.), *Virtual reality in archaeology*, BAR International Series 843, Archaeopress, Oxford, 2000.

BRUNO F., BRUNO S., DE SENSI G., LUCHI M.M., MANCUSO S., MUZZUPAPA, M., “From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition”, *Journal of Cultural Heritage* 11 (2010), 42-49.

DONEUS M., NEUBAUER W., STUDNICKA, N., “Digital Recording of Stratigraphic Excavations, Proceedings of XIXth International Symposium CIPA 2003 New perspectives to the save cultural heritage”, *The CIPA International, Archives for Documentation of Cultural Heritage* 19 (2003), 451-456.

ESQUIVEL J.A., ALEMÁN I., ESQUIVEL F.J., “Geometric 3D laser scanner model of a chalcolithic vessel (Gor, Granada, Spain)”, *Archeologia e Calcolatori* 18 (2007), 229-241.

ESQUIVEL J.A., ESQUIVEL F.J., ALEMÁN I., “Análisis estadístico de los parámetros morfométricos de un vaso carenado utilizando un láser escáner 3D”, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 18 (2008), 357-370.

ESQUIVEL F.J., MORENO J., ESQUIVEL J.A. 2009, “3D mediante laser-scanner del teatro romano de Acinipo”, *Cuadernos de Arqueología de Ronda. La ciudad romana de Acinipo. Investigaciones 2005-2007* (2009), 177-187, ISSN: 1885-6969.

ESQUIVEL, F.J., BENAVIDES, J.A., GONZÁLEZ, C. ESQUIVEL, J.A., “Una aplicación de un escáner 3d low range de luz estructurada al estudio de las venus de la villa de Salar (Granada, Spain)”, en FERNÁNDEZ I. et alii (eds.), *Terra Sigillata Hispánica. 50 años de investigaciones*, Edizioni Quasar, Roma, 2014, 58-84.

ESQUIVEL J.A., SERRANO A., JIMÉNEZ-ARENAS J.M., ESQUIVEL, F.J., “Craneoteca: la aplicación de las técnicas 3D scanner a la antropología virtual orientada a la docencia y la investigación”, en CONTRERAS F. et alii. (eds.), *Yacimientos arqueológicos y artefactos. Las colecciones del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada (I), Cuadernos técnicos 7*, Granada, Editorial Universidad de Granada, 2018, 110-123, ISBN: 978-84-338-6267-9.

GILBOA A., TAL A., SHIMSHONI I., KOLOMENKIN M. “Computer-based, automatic recording and illustration of complex archaeological artifacts”, *Journal of Archaeological Science* 40 (2013), 1329-1339.

GROSMAN L., SMIKT O., SMILANSKY U. “On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts”, *Journal of Archaeological Science* 35(12) (2009), 3101-3110.

HINZEN K.G., SCHREIBER S., ROSELLEN, S. “A high resolution laser scanning model of the Roman theatre in Pinara, Turkey: comparison to previous measurements and search for the causes of damage”, *Journal of Cultural Heritage* 14 (2013), 424–430.

HOBDEL M. *3D reconstruction of objects in the presence of strong inter reflection or subsurface scattering using structured light*. PhD. Diss. Utrecht, Utrecht University, 2015. ICA-3350312.

JACKSON W. *WFX: Fundamentals*, Apress, California, 2016.

KAMPEL M., SABLATNIG R., “Rule based system for archaeological pottery classification”, *Pattern Recognition Letters* 28 (2007), 740–747.

KARASIK A., SMILANSKY U., “3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory”, *Journal of Archaeological Science* 35(5) (2008), 1148-1168.

KEIL C., WHISSE K. (eds.), *Editing and Special Visual Effects*, Rutgers University Press, New Jersey, 2016.

KUZMINSKY S.C., GARDINER M.S., “3D-dimensional laser scanning potential uses for museum conservation and scientific research”, *Journal of Archaeological Science* 39 (2012), 2744-2751.

LANMAN D., *Structured Light for 3D Scanning*, University of Brown, Providence, 2007.

LEPOURAS G., VASSILAKIS C., “Virtual museums for all: employing game technology for edutainment”, *Virtual Reality* 8 (2005), 96-106.

MORALES J.I., LORENZO C., VERGÉS J.M., “Measuring Retouch Intensity in Lithic Tools: A new proposal using 3D scan data”, *Journal of Archaeological Method and Theory* 22(2) (2015), 543-558.

PURSE L., LEWIS, J., “The New Hollywood, 1981–1999”, en Keil C., Whissel K. (eds.), *Editing and Special/Visual Effects*, Rutgers UP, New Jersey, 2016, 142-55.

RYU J.H., *Reality & Effect: A Cultural History of Visual Effects*, PhD Dissertation, Georgia State University, https://scholarworks.gsu.edu/communication_diss/13, 2007.

SERRANO A., ESQUIVEL F.J., BENAVIDES J.A., GONZÁLEZ C., ESQUIVEL J.A., “Una aplicación del escáner de luz estructurada y *low range* en las venus de la Villa de Salar (Granada)”, en FERNÁNDEZ M.I. et alii., *Terra Sigillita Hispánica: 50 años de investigaciones*, Edizioni Quasar, Roma, 2015, 645-651.

SHOLTS S.B., WALKER P.L., KUZMINSKY S.C., MILLER K.W.P., WÄRMLÄNDER, S.K.T.S., “Identification of group affinity from cross-sectional contours of the human midfacial skeleton using digital morphometrics and 3D laser scanning technology”, *Journal of Forensic Sciences* 56 (2011), 333-338.

SMITH N.E., STRAIT S.G., “PaleoView3D: from specimen to online digital model”, *Paleontología Electrónica* 11 (2008), 1-17.

