

Estrategias innovadoras mediante escáner de luz estructurada para la digitalización en situaciones complejas de modelos anatómicos didácticos

Óscar Hernández-Muñoz, Emanuel Sterp Moga, Alicia Sánchez-Ortiz

Resumen: La digitalización mediante escáner de luz estructurada ha demostrado su utilidad para la conservación-restauración de colecciones de modelos anatómicos didácticos. No obstante, existen múltiples circunstancias en las que las tareas de escaneo se ven seriamente dificultadas o dan lugar a resultados poco satisfactorios. El objetivo de este trabajo fue diseñar nuevas estrategias para lograr una correcta digitalización en algunas de estas situaciones. Para registrar áreas ocultas o inaccesibles de una escultura se ha ensayado un método de escaneo basado en el uso de espejos. También se propone un procedimiento de escaneo a través de cristal para artefactos que no resulta recomendable extraer de la vitrina de exposición. Finalmente, para figuras excesivamente brillantes se ha analizado la utilidad de una nueva función de escaneado usando fotografías polarizadas. A la vista de los resultados obtenidos, los métodos analizados podrían considerarse una opción válida para la digitalización de este tipo de figuras.

Palabras clave: escáner 3D, escáner de luz estructurada, digitalización 3D, patrimonio cultural, conservación, modelos anatómicos, modelos 3D

Innovative strategies for digitisation in complex situations of didactic anatomical models using structured light scanning

Abstract: Digitisation by structured light scanning has proven to be useful for the conservation-restoration of collections of didactic anatomical models. However, there are many circumstances in which scanning tasks are seriously hindered or lead to unsatisfactory results. The aim of this work was to design new strategies to achieve correct digitisation in some of these situations. A scanning method based on the use of mirrors has been tested to record hidden or inaccessible areas of a sculpture. A scanning procedure through glass is also proposed for artefacts that are not advisable to remove from the display case. Finally, for excessively bright figures, the usefulness of a new scanning function using polarised photographs has been analysed. In view of the results obtained, the analysed methods could be considered a valid option for the digitisation of this type of figures.

Keywords: 3D scanning, structured light scanner, digitisation 3D, cultural heritage, conservation, anatomical models, 3D models

Estratégias inovadoras mediante um scanner de luz estruturada para digitalização em situações complexas de modelos anatómicos didáticos

Resumo: A digitalização por meio de um scanner de luz estruturada demonstrou ser útil para a conservação e restauro de obras pertencentes a coleções de modelos anatómicos didáticos. No entanto, existem várias circunstâncias nas quais as tarefas de digitalização são seriamente afetadas, levando a resultados insatisfatórios. O objetivo deste trabalho foi testar novas estratégias para controlar algumas das situações. Para registrar áreas ocultas ou inacessíveis de uma escultura, foi testado um método de digitalização baseado no uso de espelhos. Um procedimento de varrimento através do vidro também é proposto para artefactos cuja remoção da vitrine não é recomendada. Finalmente, para figuras excessivamente brilhantes, foi analisada a utilidade de uma nova função de varrimento usando fotografias polarizadas. Face aos resultados obtidos, os métodos analisados podem ser considerados uma opção válida para a digitalização deste tipo de figuras.

Palavras-chave: scanner 3D, scanner de luz estruturada, digitalização 3D, património cultural, conservação, modelos anatómicos, modelos 3D

Introducción

La digitalización mediante escáner 3D se ha convertido en una práctica habitual dentro del campo de la conservación y restauración del patrimonio cultural (Montusiewicz et al., 2021: 3). Esto es debido fundamentalmente a la fidelidad con que es capaz de reproducir la geometría y el color de los objetos gracias a su precisión submilimétrica (García-Molina et al. 2021: 2). Numerosos estudios han demostrado la utilidad de los escáneres de luz estructurada en este área (Akça 2012: 150; Barone, Paoli y Raziore 2012: 16800; Patay-Horváth 2014: 17; Papadaki et al. 2015: 242; Di Paola y Inzerillo 2018: 316; Adamopoulos, Rinaudo y Ardissono, 2021: 2; Montusiewicz et al. 2021: 16). En las últimas décadas, estos dispositivos han ido evolucionando con la incorporación de sistemas ópticos de mayor calidad, así como software de interpretación de datos más avanzado, dando lugar a modelos cada vez más definidos y exactos, en los que quedan registrados hasta los más pequeños relieves superficiales.

El grupo de investigación de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) *Arte, Tecnología, Imagen y Conservación del Patrimonio Cultural*, se ha especializado en el estudio de colecciones históricas con modelos didácticos de anatomía humana, animal y vegetal que se conservan en los museos universitarios (Hernández-Muñoz y Sánchez-Ortiz 2019; Hernández-Muñoz, Sánchez Ortiz y Matía Martín 2019; Sterp Moga, Hernández-Muñoz y Sánchez-Ortiz 2020). Este tipo de figuras, elaboradas entre los siglos XVIII y XX en diferentes materiales como la cera policromada, el papel maché o la escayola, representaban de forma detallada la morfología de los sistemas y aparatos del ser humano, así como la anatomía de distintas especies zoológicas y botánicas. Su objetivo era servir de ayuda para los docentes durante sus lecciones sobre estas materias, motivo por el cual eran frecuentemente manipuladas por profesores y alumnos, siendo este uno de los factores fundamentales de su deterioro. Debido a su elevada complejidad formal, para su digitalización se hace necesaria la utilización de dispositivos de alta resolución y precisión, por lo que los escáneres de luz estructurada han resultado de gran ayuda en las investigaciones desarrolladas, tanto para la documentación gráfica de las piezas como para la planificación de las posibles intervenciones de conservación-restauración que estas podían precisar. Además, los modelos 3D de alta definición, creados a partir de las obras originales, han permitido obtener reproducciones de partes dañadas mediante impresión 3D, ya sea de forma directa con diferentes filamentos comercializados (Laycock et al. 2015: 3; Di Paola Milazzo y Spatafora 2017: 181; De Luca et al. 2019: 386), o bien indirecta, elaborando moldes impresos a partir de los cuales se han positivado en el material deseado dichos elementos (Brinkmann y Koch-Brinkmann 2019: 123; Hernández-Muñoz et al. 2022: 708).

No obstante, existen diferentes situaciones en las que la captura de datos durante la fase de escaneo se ve comprometida, llegando incluso a ser imposible obtener una malla de calidad mínimamente aceptable. Algunas de

estas circunstancias son bien conocidas y tienen que ver con la naturaleza material del objeto, como la existencia de piezas muy transparentes, negras o con superficies muy brillantes, que alteran la reflexión del patrón de luz emitido por el escáner e interfieren su correcta detección por los sensores del dispositivo, impidiéndole calcular la posición exacta de los puntos del artefacto.

En relación con las figuras de superficies muy reflectantes, la reflexión excesiva de rayos de luz sobre su superficie puede impedir el correcto funcionamiento de los escáneres ópticos, siendo incluso imposible determinar su morfología en casos extremos. La solución más sencilla consiste en la aplicación de sustancias que evitan los reflejos, habitualmente aerosoles de polvo o pintura en espray, que pueden ser posteriormente dispersados o disueltos (Jun et al. 2008: 031118-2; Valinasab et al. 2015: 24). Desafortunadamente, este método no es aceptable en artefactos de valor histórico al no estar acreditada la inocuidad de los productos químicos que forman parte de su composición. Además, este sistema no permite determinar el color de la superficie de la escultura.

Diferentes autores han propuesto sistemas alternativos de reconstrucción tridimensional de objetos excesivamente brillantes basados en distintas estrategias, tales como el calentamiento de su superficie y posterior registro termográfico (Eren 2010), el registro de la fluorescencia inducida por radiación ultravioleta (Rantson et al. 2010: 2966) o la utilización de pantallas mostrando patrones que se reflejan en la superficie de la pieza (Liu et al. 2015: 2; Tarini et al. 2005: 236; Balzer et al. 2011: 2538). Aunque los modelos anatómicos didácticos habitualmente están cubiertos de una capa de barniz, su brillo no es tan intenso como para impedir el registro correcto de su morfología mediante escáneres de luz estructurada. No obstante, el flash de la cámara del escáner encargada de capturar el color de su superficie puede producir reflejos intensos. Este es un factor que es muy importante controlar pues afecta a la información cromática registrada por el escáner (Felicísimo y Polo 2022: 163). Pese a que algunos programas informáticos empleados para el procesamiento de la información obtenida por el escáner permiten la eliminación de brillos, este proceso se realiza mediante una estimación basada en algoritmos matemáticos y el color determinado para esas zonas no suele corresponderse fielmente con el del objeto real. Algunos autores han tratado de minimizar este fenómeno cuidando la dirección y potencia de las fuentes de iluminación de la sala, ajustando los parámetros del escáner, como la potencia del flash, o controlando la inclinación de los rayos de luz sobre la superficie del objeto (Niquet y Mas-Barberá 2018: 8), aunque por lo general no es posible eliminarlo por completo. Por este motivo, para la creación de la textura de color resulta aconsejable el empleo de procedimientos que permitan eliminar los brillos excesivos durante la toma fotográfica. Dicho objetivo puede lograrse mediante fotogrametría, una técnica de digitalización 3D basada en la captura de múltiples imágenes fotográficas tomadas desde diferentes puntos de vista. Este procedimiento permite

una mayor flexibilidad en el control de la iluminación y se puede beneficiar del empleo de la polarización cruzada, es decir, de la incorporación de filtros polarizadores tanto en la fuente de iluminación como en el objetivo de la cámara para eliminar los reflejos (Anghelută y Rădvan 2020: 7). Lamentablemente, aunque la textura de color resultante es de gran calidad, la precisión volumétrica de este método no es tan elevada como la del escáner 3D. Pese a que es posible combinar la información aportada por el escáner 3D y la fotogrametría, el tiempo de procesamiento se eleva considerablemente y este método exige proyectar la textura de color sobre la malla poligonal en un software de Modelado 3D mediante un procedimiento complejo. En este trabajo presentamos un método, basado una nueva función incorporada en el software Artec Studio 16, que permite calcular la textura cromática a partir de fotografías tomadas con una cámara diferente a la incorporada en el escáner y asignarla de forma directa a la malla 3D escaneada, lo que simplifica el proceso, reduce el tiempo de elaboración del modelo 3D y permite utilizar un sistema de polarización cruzada para la eliminación de los reflejos.

Por otra parte, la morfología de las figuras puede ser un condicionante serio para su digitalización, especialmente en los objetos con huecos profundos y estrechos o dotados de partes muy planas o finas, que representan un reto para su digitalización con estos dispositivos, sobre todo en el borde de transición de un plano a otro (Graciano *et al.* 2017).

Otra situación que nos encontramos con frecuencia en las salas de exposición es que algunas obras están ubicadas en lugares que pueden dificultar o impedir una digitalización correcta. Así, por ejemplo, en ocasiones la figura que se desea documentar gráficamente se encuentra muy próxima a una pared, haciendo imposible acceder a la parte posterior de la misma para escanearla. Otras veces, está expuesta dentro de una vitrina de cristal, existiendo un espacio insuficiente para introducir el escáner entre esta y la escultura. Obviamente, lo ideal en estas circunstancias sería trasladar la pieza a un lugar donde pudiera ser correctamente escaneada, pero no siempre es posible hacerlo debido a que esta podría tener comprometida su estabilidad estructural, estando desaconsejada su movilización. En estas circunstancias, la utilización de espejos para reflejar las zonas no visibles podría resolver el problema. Existen numerosos trabajos publicados que tratan sobre el uso de espejos para reconstrucción 3D de objetos a partir de imágenes fotográficas (Hu, Brown y Nelson 2005; Forbes *et al.* 2006; Huang y Lai 2006; Ihrke *et al.* 2012; Reshetouski y Ihrke 2013; Takahashi y Nobuhara 2022), pero se basan en sistemas de captura complejos cuya utilización en un museo resulta poco viable. Por otro lado, aunque es posible digitalizar objetos a través de un espejo con escáneres láser (Riquelme *et al.* 2017: 11), hay autores que no consideran posible realizar esta operación con un escáner de luz estructurada (Graciano *et al.* 2017: 53). Sin embargo, en este trabajo mostramos una experiencia de digitalización a través de un espejo de las

partes ocultas de una figura, utilizando este último tipo de escáner, gracias al control de la iluminación, al ajuste de los parámetros del escáner y a la eliminación durante el procesamiento de las interferencias provocadas por el reflejo del flash. No nos consta que se haya publicado hasta la fecha ningún estudio refiriendo el uso de esta metodología.

Finalmente, en algunas ocasiones los objetos que se quiere reconstruir digitalmente están ubicados en vitrinas y resulta complejo escanearlos por ese motivo (Montusevicz *et al.* 2021: 6). Esta dificultad se agrava especialmente porque la superficie extremadamente pulida del vidrio refleja muy intensamente las fuentes de luz ambientales, así como el flash del escáner, produciendo abundantes interferencias. En ciertos casos, sin embargo, resulta imposible extraer el modelo anatómico de la vitrina debido a problemas estructurales que hacen poco recomendable su movilización y la digitalización sólo puede llevarse a cabo a través del cristal, por lo que también hemos analizado los factores adversos que afectan a la digitalización mediante escáner de luz estructurada en estas circunstancias.

Materiales y métodos

Se utilizó un escáner de luz estructurada Artec Eva, con una precisión de puntos 3D de hasta 0,1 mm, una resolución máxima de 0,2 mm, y una distancia de escaneo de entre 0,4 y 1 m.

No se utilizaron targets adhesivos para facilitar la alineación de tomas durante la fase de registro debido a que no son admisibles en el tipo de obras que componen las colecciones de esculturas anatómicas didácticas, ya que podrían dañar su superficie.

A continuación, se describen algunas de las situaciones complejas más habituales que pueden presentarse durante la digitalización mediante escáner de luz estructurada de modelos anatómicos, así como las correspondientes estrategias que se analizaron para compensar las dificultades que estas presentan.

— Escaneo de objeto cuando la distancia de trabajo es insuficiente

Para simular esta situación, se utilizó una réplica del soporte lateral de la Venus de Medici obtenida a partir de un molde cedido por la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (España) (RABASF). Esta pieza había sido digitalizada previamente por nuestro equipo para analizar su concordancia en forma y tamaño con un modelo didáctico anatómico basado en dicha Venus, creado en el siglo XVIII por Ignacio Lacaba para el Real Colegio de Cirugía de San Carlos de Madrid, que se conserva actualmente en el Museo "Javier Puerta" de la Facultad de Medicina de la UCM [Figura 1].

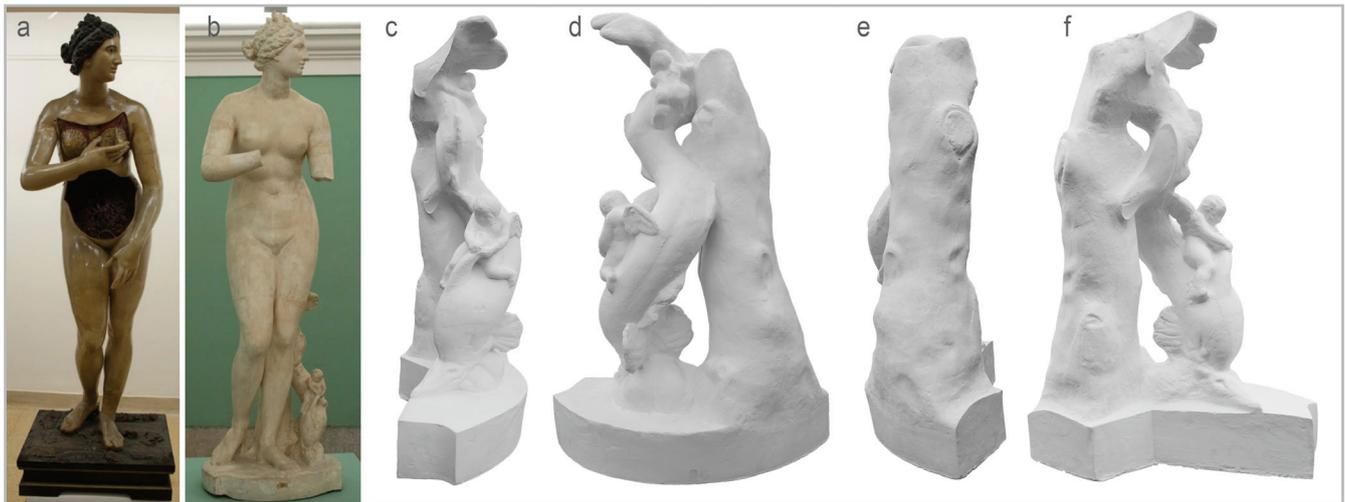


Figura 1. - Venus de Medici: a) Modelo anatómico denominado Venus de Medici (Museo de Anatomía "Javier Puerta" UCM); b) Copia de la Venus de Medici en escayola (RABASF); c) Vista frontal de una copia del soporte lateral de la Venus de Medici de la RABASF; b) Ídem, vista lateral izquierda; c) Ídem, vista posterior; d) Ídem, vista lateral derecha.

En esta ocasión, se volvió a escanear ubicado a 20 cm de una pared, de manera que fuera imposible registrar de forma directa su parte posterior, ya que esa separación es menor que la distancia mínima de trabajo requerida por el dispositivo. Esta dificultad se solventó introduciendo un espejo de grandes dimensiones, pegado a la pared, que reflejaba la cara oculta de la figura con el fin de obtener una vista completa de la misma y disponer de una separación adecuada entre esta y el escáner. El objetivo fue comparar los dos modelos 3D, el registrado por completo de forma directa y el digitalizado parcialmente con ayuda de un espejo, para ver si este segundo método aportaba la calidad suficiente como para justificar su uso en situaciones en las que no fuera posible mover el artefacto a una localización en la que pudiera escanearse de forma convencional.

Las dos partes, anterior y posterior, de la figura fueron escaneadas y procesadas por separado, tratando durante la toma de datos que las áreas digitalizadas se solapasen de forma generosa para lograr en la fase final una correcta fusión entre ambas. La región anterior de la figura se registró sin ningún problema, pero al tratar de escanear la parte posterior a través del reflejo en el espejo, surgieron diferentes inconvenientes. Por una parte, la aparición de numerosas interferencias impedían casi por completo la visualización en el monitor de la figura escaneada y, por otra parte, se produjeron numerosas pérdidas de alineación de los fragmentos escaneados en una misma toma. Estas circunstancias hicieron prácticamente imposible obtener una malla completa de la parte posterior y la superficie de los fragmentos que se pudieron registrar poseía una serie de irregularidades evidentes, debidas seguramente a las interferencias producidas por los brillos del cristal. Además, las texturas que se calcularon para los fragmentos registrados tenían numerosas áreas blancas que se correspondían con los reflejos producidos al rebotar el flash sobre el cristal.

Para compensar estas alteraciones se probó a efectuar diferentes modificaciones en el método de escaneo, así como en la iluminación de la sala y en la configuración del escáner para realizar una toma de datos más correcta. En primer lugar, se trató de que capturar todos los detalles de la escultura en una toma única, ya que de esta forma parecían reducirse las pérdidas de alineación. Por otra parte, se percibió qué buena parte de las interferencias que se produjeron durante el escaneado, tuvieron lugar en aquellos momentos en los que el escáner estaba orientado hacia alguna de las luces de la sala y cuyo reflejo, obviamente, estaba siendo captado por los sensores produciendo alteraciones en el registro. Así pues, se procedió a apagar todas las luces ubicadas en lugares hacia los cuales el escáner debiera apuntar durante la toma de datos. Otro de los factores determinantes en la aparición de artefactos durante la fase de registro fue la intensidad del flash del escáner. Afortunadamente el software de procesamiento de datos Artec Studio 16, permite regular la intensidad de brillo de la textura de forma manual, por lo que se redujo al mínimo. También es posible desactivar flash en algunos modelos de escáner pero esto requiere al menos 1000 lúmenes de potencia de iluminación sobre objeto, con lo que dichas luces serían reflejadas por el espejo y provocarían aún más artefactos.

Una vez modificado este parámetro, se procedió a repetir el escaneado de la cara posterior de la escultura reflejada en el espejo, reduciéndose notablemente la aparición de interferencias y las pérdidas de alineamiento antes referidas. No obstante, estas dos complicaciones no se resolvieron por completo, por lo que fue necesario ejecutar algunas tareas adicionales. En primer lugar, durante el procesamiento con el software Artec Studio 16, se realizó la separación de aquellos fotogramas que no se habían alineado correctamente durante la toma. Esto puede ser aconsejable en algunas ocasiones

durante un escaneo convencional, pero al escanear a través de un espejo, estas pérdidas de alineación fueron mucho más frecuentes, por lo que fue preciso seleccionar y reubicar todos los fragmentos mal orientados en un *Scan* o toma diferente. A continuación, se orientaron correctamente las diferentes tomas con la herramienta de Auto-alineación y se ubicó la figura agrupada en el plano de coordenadas mediante las funciones de posicionamiento del menú *Editor*. Por último, antes de proceder al registro global de los datos, se eliminaron manualmente todos los artefactos persistentes que se habían producido debido a reflexiones anómalas en el espejo. Por fortuna, estas interferencias fueron poco abundantes tras apagar las fuentes de luz problemáticas y reducir la potencia del flash. Además, estas permanecieron agrupadas a una cierta distancia de los puntos de la figura que estaban correctamente ubicados, por lo que su selección y borrado resultaron sencillos [Figura 2].

Una vez completadas estas tareas, resultó evidente que los puntos obtenidos a partir de la imagen reflejada de la zona posterior de la escultura estaban invertidos en el espacio de izquierda a derecha, por lo que posteriormente fue necesario invertir esta parte de la figura para que encajase adecuadamente con la parte anterior. No obstante, se comprobó que si se ejecutaba esta acción en la parte escaneada a través del espejo previamente al registro global, se producía una pérdida de alineación de los diferentes fotogramas al efectuar este, por lo que se decidió realizar el procesamiento completo de la parte anterior y posterior por separado para fusionar las mallas resultantes en una fase más avanzada. Es posible que esta falta de alineación se deba a que durante el escaneo a través del espejo, la distancia que recorre el patrón de luz hasta cada punto de la superficie del objeto es el doble de la que existiría en un escaneo directo y esto altere los cálculos de distancia para diferentes tomas al estar configurados para trabajar a distancia real.

Así pues, una vez realizada la alineación de fragmentos de la parte posterior, se ejecutó la función de Registro

global para determinar la posición exacta de cada punto en el espacio y posteriormente se aplicó el filtro *Eliminación de ruido* con una resolución de 0,6 mm y un *Nivel de ruido 3D de 3*. Tras esta operación, se generó la malla poligonal con la opción *Fusión dura* del programa, utilizando una resolución 3D de 0,6 mm y ajustando la opción *Llenar agujeros* para cerrar los orificios con un radio menor de 5 mm.

Para eliminar los pequeños fragmentos de malla que se podrían haber creado de forma errónea, se aplicó el filtro de objetos pequeños con un número de polígonos menor de 5000.

Se obtuvieron de esta manera dos mallas, una para cada una de las dos caras de la figura con cierto solapamiento entre ellas. Dado que la primera de ellas se había obtenido de forma directa y la segunda se había creado a través del espejo y, por tanto, era una imagen invertida de la escultura original, se procedió a voltear horizontalmente esta última mediante las herramientas de transformación de Artec Studio 16. Concretamente se utilizó para este fin la opción de *Reflejar* que ofrece el citado panel ubicado en el módulo de edición del programa.

Con las dos mallas ya en la disposición adecuada se procedió a alinearlas y a eliminar la mayoría de las zonas de solapamiento para lograr un resultado más limpio. De esta forma se consiguió unificar ambas regiones en un único modelo 3D.

El cálculo de la textura también requirió de alguna operación adicional debido a que de la parte de la figura escaneada a través del espejo solo se había volteado la malla resultante y no los fotogramas capturados, que seguían estando invertidos. Así pues, se invirtieron también estos con la función *Reflejar* y se alinearon con la malla fusionada [Figura 3]. De esta forma, la información sobre la textura podía proyectarse de forma correcta sobre el modelo. Los parámetros empleados para la obtención de la textura fueron los habituales, calculando, en primer lugar, una textura exportable de



Figura 2.- Proceso de escaneo 3D con ayuda de un espejo: a) Esquema de registro directo e indirecto; b) Fase de registro mostrando reflejo del flash del escáner en espejo; c) Previsualización en Artec Studio 16 del modelo 3D con interferencias seleccionadas para su eliminación; b) Ídem, una vez eliminadas.

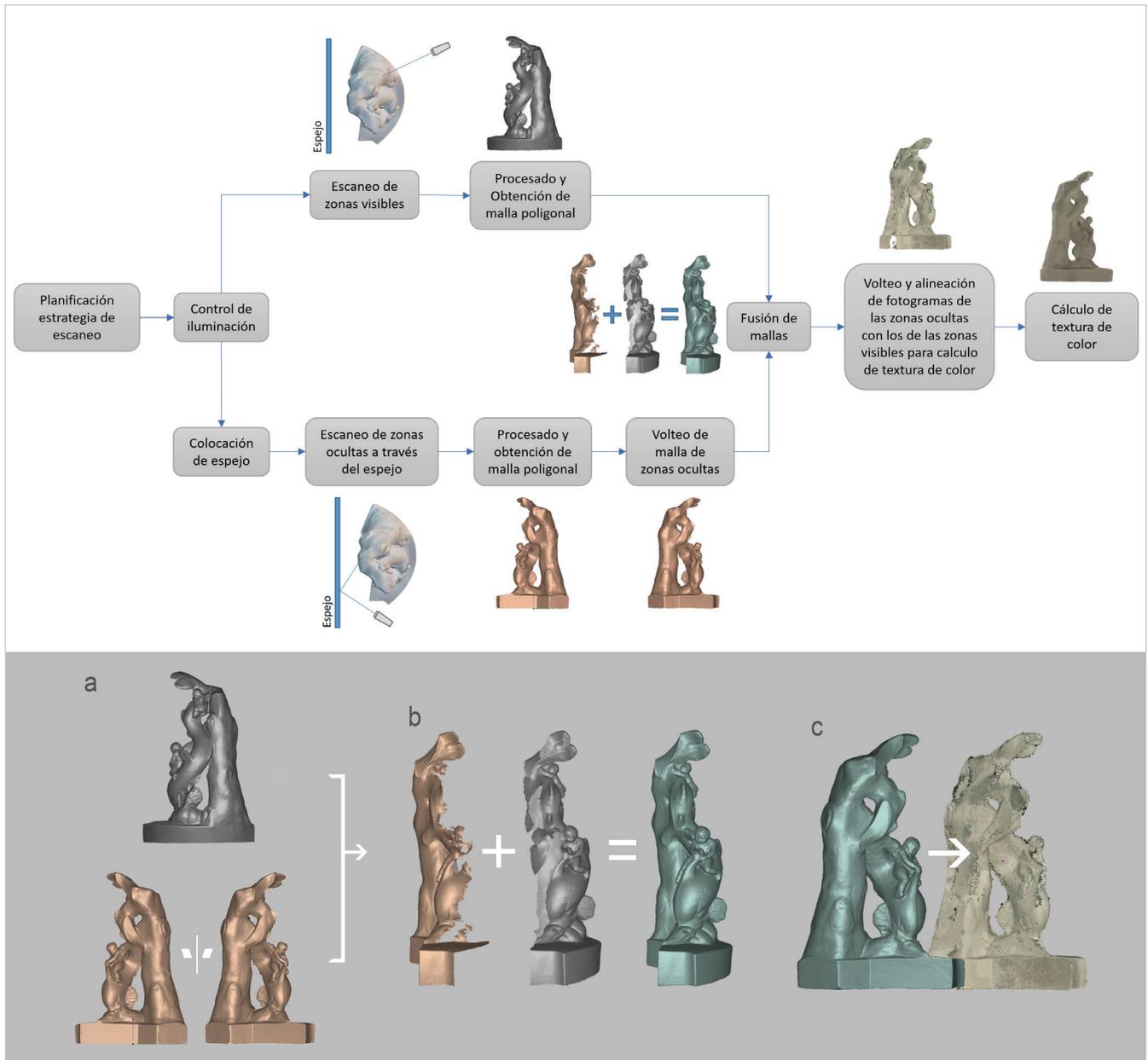


Figura 3.- Proceso de obtención de malla poligonal y textura del modelo 3D: malla poligonal obtenida por escaneo directo (gris), malla del modelo escaneada a través del espejo (naranja), y malla poligonal definitiva (verde) obtenida por fusión de las anteriores.

pequeñas dimensiones (512x512 píxeles) debido a que este cálculo previo permite acelerar bastante el proceso de creación de la textura definitiva, que en este caso fue de 16384x16384 píxeles. En esta textura final también se activó la opción denominada *Reducir el deslumbramiento* con un nivel de intensidad de 7 sobre 10.

— *Escaneado de un objeto ubicado tras una vitrina*

En la segunda situación analizada, se colocó detrás de un cristal la misma escultura empleada en el estudio anterior, de forma que no era posible escanearla directamente. La interposición de ese vidrio conllevaba el consiguiente riesgo de interferencias producidas al ser atravesado por el patrón de luz emitido por el escáner.

Con el fin de reducir al máximo la producción de artefactos, se apagaron todas las luces de la sala que pudieran producir rebotes en la dirección del escáner durante la toma y se conservó la iluminación existente detrás del cristal. Al igual que en el caso anterior, se configuró el parámetro correspondiente al brillo de la textura para reducir al máximo su intensidad y minimizar así los destellos sobre la vitrina. Una vez realizados estos ajustes, se procedió a registrar la superficie del objeto visible desde la vitrina. El procesamiento fue igual que en un caso normal, salvo que se requirió también una limpieza de las interferencias producidas durante el escaneado y que, al igual que en el caso anterior aparecían flotando a cierta distancia de los puntos que formaban la figura, por lo que resultaron fáciles de eliminar [Figura 4].

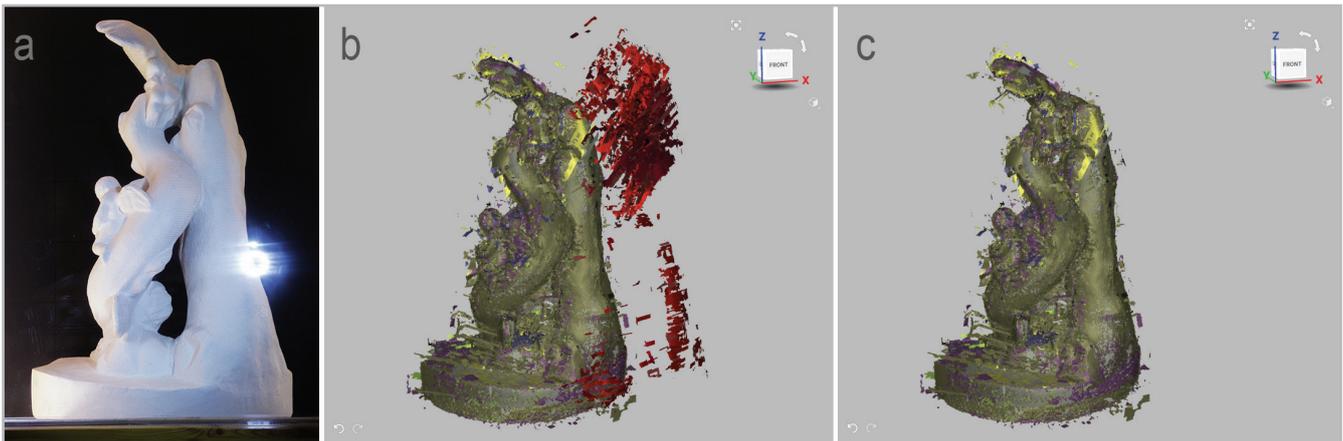


Figura 4.- Eliminación de los artefactos producidos por el reflejo del flash del escáner en el cristal de la vitrina: a) Reflejo del flash del escáner en cristal de vitrina; b) Selección de interferencias en Artec Studio 16; c) Eliminación de puntos anómalos.

—Escaneado de un objeto con polarización cruzada

Artec Studio 16 incorpora una nueva función que permite importar fotografías del objeto escaneado tomadas desde distintos ángulos, para alinearlas en relación con los fotogramas capturados por el escáner y poder así calcular la textura a partir de ellas en lugar de las instantáneas capturadas por la cámara del propio escáner. En nuestro estudio hemos probado este procedimiento combinado con la técnica de polarización cruzada al fotografiar la figura digitalizada, obteniendo así un doble beneficio: creación de una textura fotográfica de muy alta calidad y eliminación de los reflejos producidos por el flash sobre una superficie pulida. Aunque ya existía en versiones anteriores de Artec Studio una opción para reducir los brillos durante el cálculo de la textura de color, esta función corrige los destellos mediante interpolación y, por tanto, no es fiel a la textura original del objeto, por lo que es más apropiado eliminar los reflejos durante la captura de información de color. Para esta prueba, hemos utilizado un objeto de superficie relativamente brillante. Se trata de la recreación de una cabeza de *Equus africanus asinus* elaborada a partir de una figura anatómica conservada en el Museo

Veterinario Complutense. Las imágenes se han capturado con una cámara SLR Canon 7D Mark II y un objetivo Canon EF 50mm, f/1.8 II. En el foco utilizado como fuente de iluminación principal, se ha incorporado una lámina polarizada Rosco de 43 x 51cm, de color gris natural y con una transmisión de 38% y, asimismo, se ha acoplado un filtro polarizador Kenko Zeta C-PL de 52mm al objetivo de la cámara fotográfica. Para evitar la trepidación derivada de los largos tiempos de exposición, se ha utilizado un trípode para estabilizar el sistema y un cable disparador para efectuar los disparos. El método de captura de imágenes requirió el desplazamiento en rotación de la cámara alrededor del objeto tomando las instantáneas con una distancia suficiente para lograr al menos un solapamiento de 2/3, asegurando así una correcta alineación durante el procesamiento. Se repitió esta operación a diferentes alturas con la misma separación entre ellas en sentido vertical. El registro se realizó desplazando el escáner Artec Eva alrededor del objeto, que permaneció estático durante toda la toma. Esto resultaba necesario para que en el procesamiento informático se pudieran cotejar correctamente las imágenes tomadas por la cámara del dispositivo con las fotografías realizadas con la cámara SLR [Figura 5].

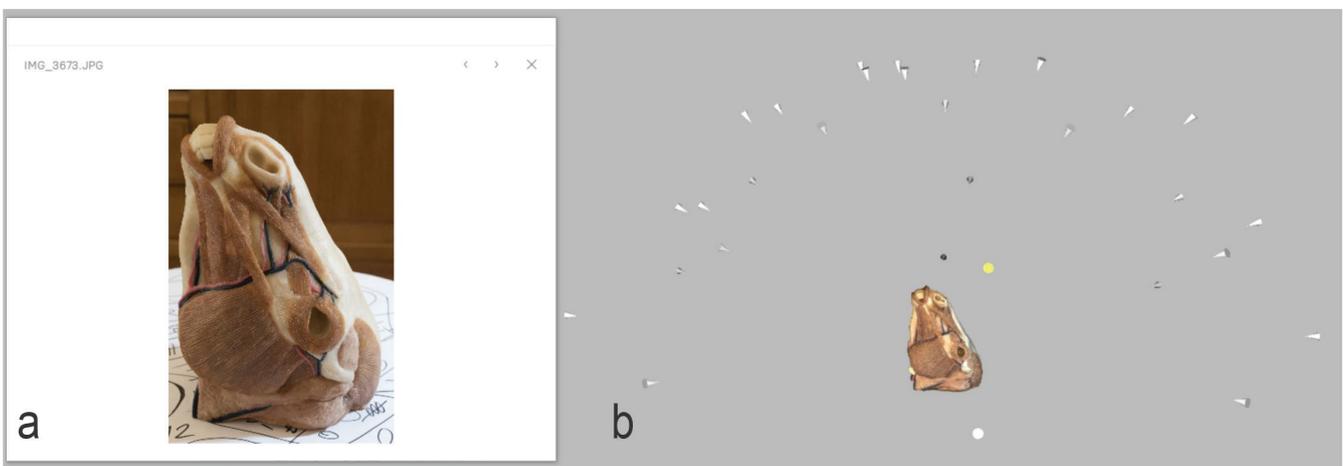


Figura 5.- Creación de la textura a partir de imágenes tomadas con cámara SLR en Artec Studio 16: a) Visor de fotografías importadas; b) Distribución de fotografías alineadas alrededor del modelo.

La malla poligonal con la geometría del objeto se obtuvo mediante el procedimiento convencional de procesamiento de datos escaneados en Artec Studio 16: alineación de Scans, posicionamiento en el espacio de la figura, registro global, eliminación de ruido y obtención de la malla poligonal. A continuación, se importaron las imágenes y se realizó un registro de las mismas para su identificación por el sistema y correcta alineación. Finalmente, se calculó la textura tomándolas como fuente de información para obtener una textura exportable de 16.384x16.384 píxeles. El sistema de polarización cruzada hizo innecesaria la aplicación del filtro de reducción de deslumbramientos del programa [Figura 6].

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas han sido bastante satisfactorios pues nos han permitido

obtener modelos 3D de suficiente calidad en condiciones bastante adversas.

— Escaneado de figuras pegadas a una pared

La digitalización mediante la interposición de un espejo en la región inaccesible ha posibilitado el registro indirecto de la zona oculta con una calidad bastante próxima a la obtenida por escaneado directo. Únicamente se han tenido que controlar algunos factores como la iluminación o la intensidad del flash para poder ejecutar correctamente la captura de información y, posteriormente, filtrar los artefactos debidos a reflejos indeseados durante el procesado. Tanto la geometría del objeto como la textura se han reproducido con una definición adecuada [Figura 7].

Las únicas irregularidades de la malla detectadas durante el proceso se han encontrado en la zona de fusión de

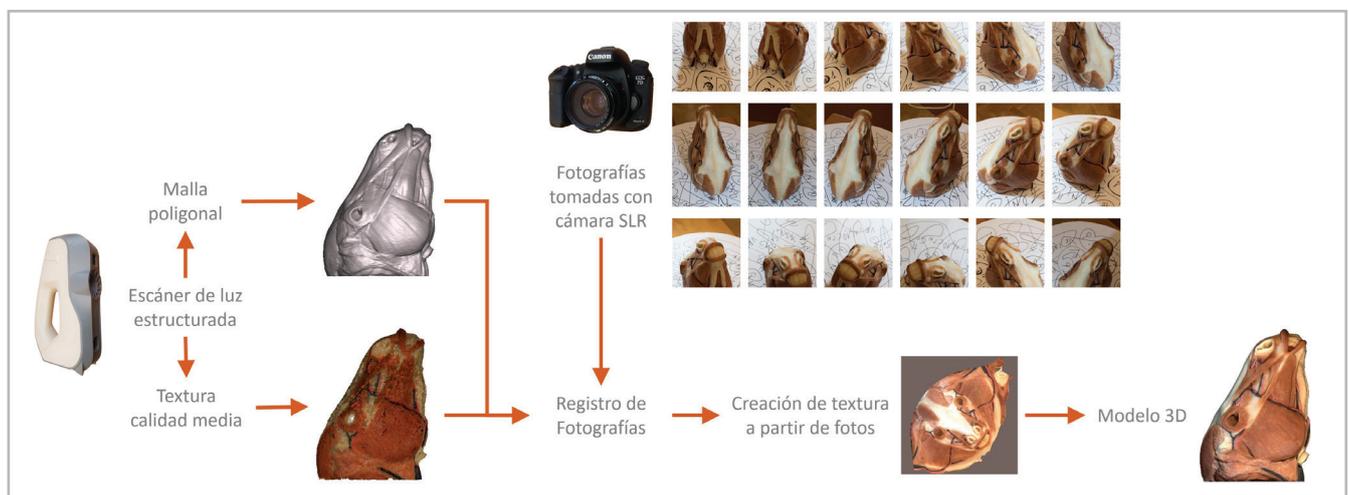


Figura 6.- Proceso de creación de modelo 3D en Artec Studio 16 combinando la información aportada por el escáner de luz estructurada y las fotografías capturadas utilizando una cámara SLR.



Figura 7.- Modelo 3D digitalizado con escáner de luz estructurada con ayuda de un espejo para registrar las partes ocultas: a) vista anterior; b) vista lateral izquierda; c) vista posterior; d) vista lateral derecha.

ambas partes, anterior y posterior, de la figura pero fueron fácilmente controladas mediante suavizado de los polígonos afectados.

Otros autores han considerado que el escáner de luz estructurada no era válido para digitalizar áreas ocultas reflejadas en un espejo (Graciano *et al.* 2017: 53), y de hecho, no hemos localizado otro trabajo publicado en el que se utilice esta estrategia. Esto se debe posiblemente a que su registro requiere un control constante de la orientación del escáner para evitar captar los destellos del flash y también una regulación de la iluminación para evitar que las fuentes de luz se reflejen hacia el dispositivo. Además, el procesamiento también es más complejo y requiere eliminar las interferencias provocadas por el flash, que de otro modo harían inservible el modelo.

— El escaneado de figuras situadas detrás de un cristal

Este método ha dado también buenos resultados una vez controlada también la orientación del escáner, el brillo de la textura y las fuentes de luz cuyos reflejos podían ser captados por el escáner. Tanto la forma como el color superficial del objeto se han virtualizado correctamente y salvo la eliminación de interferencias y un mayor cuidado durante el escaneado para no perder la alineación, el procedimiento ha sido similar al convencional [Figura 8].

Pese a que el escaneo de objetos dentro de vitrinas presenta diferentes problemas como la presencia, en ocasiones, de paneles en los laterales o en el fondo de la misma que impiden registrar algunas zonas o los elementos de unión de las láminas de cristal (Montusiewicz *et al.* 2021: 7), existen otros casos en los que la pieza que se pretende digitalizar se encuentra en una vitrina cuyas caras son todas de vidrio, y es posible escanearla a través del mismo. Para estas situaciones creemos que puede ser válido el método descrito en este trabajo.

— Escaneado de figuras con polarización cruzada

Tras analizar el modelo 3D generado, resulta destacable la gran calidad de la textura obtenida a partir de la cámara SLR



Figura 8.- Modelo 3D digitalizado con escáner de luz estructurada a través de un cristal de vitrina

en relación con la que es capaz de generar el escáner a través de las imágenes captadas desde la cámara incorporada. Tanto la definición de los detalles como la precisión en la representación cromática fueron muy superiores a los obtenidos por el procedimiento convencional con Artec Eva. Además, debido a la polarización cruzada realizada durante la toma de fotografías, la textura quedó exenta de cualquier brillo causado por la iluminación ambiental [Figura 9]. Este sistema de registro mixto tiene diferentes ventajas sobre otros métodos previos de integración de datos procedentes de escáner de luz estructurada y fotogrametría. En primer lugar, el número de fotografías necesarias del modelo es muy inferior al que se requiere con

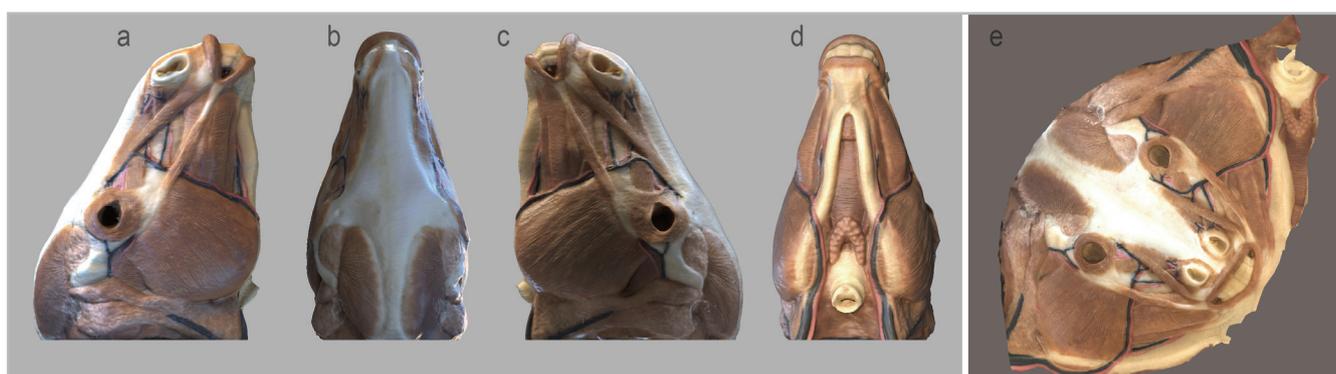


Figura 9.- Modelo 3D digitalizado con escáner de luz estructurada del modelo anatómico de cabeza de burro: a) Vista lateral derecha; b) Vista superior; c) Vista lateral izquierda d) Vista inferior; e) Textura de color de alta resolución obtenida mediante cámara SLR.

una fotogrametría convencional, por lo que se disminuye sensiblemente el tiempo de registro y también la memoria de almacenamiento. Además, el proceso de integración de la textura fotográfica con la malla 3D es automático y no requiere operaciones complejas en programas de diseño 3D. Finalmente, la posibilidad de utilizar polarización cruzada durante la toma fotográfica permite crear una textura libre de brillos que se aplica directamente sobre el modelo escaneado.

Conclusiones

Debido a las especiales características de las obras que componen las colecciones de modelos anatómicos, es habitual encontrar situaciones en las que la digitalización mediante escáner de luz estructurada resulta compleja o imposible. Las técnicas analizadas en este estudio pretenden aportar una posible vía para facilitar dicha tarea y posibilitar la creación de modelos 3D de calidad suficiente. Se ha comprobado que es factible escanear las partes inaccesibles de una figura mediante un espejo estratégicamente colocado. También se ha demostrado que es posible digitalizar una figura a través de un cristal y, por tanto, podría utilizarse este procedimiento cuando no sea viable extraer la pieza de la vitrina en la que se exhibe.

La utilización de fotografías de alta resolución obtenidas del modelo mediante cámara SLR mejora notablemente el resultado obtenido al generar la textura del objeto. Los programas informáticos empleados para el procesamiento de datos obtenidos mediante un escáner de luz estructurada que incorporan la posibilidad de importar estas imágenes y alinearlas con la malla 3D para calcular el color de cada punto de su superficie aportan una ventaja significativa al facilitar este procedimiento, que anteriormente tenía que ser realizado de forma independiente y más laboriosa empleando otro software de diseño 3D. El uso de polarización cruzada durante la fase de captura fotográfica, añade una ventaja suplementaria al eliminar por completo los brillos reflejados por la figura.

Agradecimientos

La presente propuesta se ha desarrollado dentro del marco del proyecto de investigación Ref.: PGC2018-098396-B-100 *Metodologías innovadoras en conservación-restauración de colecciones científicas con modelos didácticos de botánica, anatomía humana y animal basadas en tecnologías 3D*, financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (España) dentro del Programa Estatal de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico I+D+i, Subprograma Estatal de Generación de Conocimiento, y gracias a la Beca Predoctoral FPI ref. PRE2019-087870 financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación (España), FSE Fondo Social Europeo y la Agencia Estatal de Investigación.

Referencias

- ADAMOPOULOS, E., RINAUDO, F. Y ARDISSONO, L. (2021). "A Critical Comparison of 3D Digitization Techniques for Heritage Objects", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/ijgi10010010>.
- AKÇA, M. (2012). "3D modeling of cultural heritage objects with a structured light system", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 12(1): 139-152. Disponible en: <http://acikerisim.isikun.edu.tr/xmlui/handle/11729/465> [consulta: 06/10/2021]
- ANGHELUȚĂ, L.M. Y RĂDVAN, R. (2020). "3d digitization of translucent materials in cultural heritage objects: A comparative study between laser scanning and photogrammetry", *Romanian Journal of Physics*, 65(7-8):1-12. Disponible en: https://rjp.nipne.ro/2020_65_7-8/RomJPhys.65.906.pdf [consulta: 28/11/2021]
- BALZER, J., HÖLER, S. Y BEYERER, J. (2011). «Multiview specular stereo reconstruction of large mirror surfaces», *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (April 2015), 2537-2544. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2011.5995346>.
- BARONE, S., PAOLI, A. Y RAZIONALE, A.V. (2012). "3D Reconstruction and Restoration Monitoring of Sculptural Artworks by a Multi-Sensor Framework", *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12(12): 16785. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2011.599534610.3390/S121216785>.
- BRINKMANN, V. Y KOCH-BRINKMANN, U. (2019). "The experimental reconstruction of the bronze warriors of Riace as part of the Frankfurt «Liebieghaus Polychromy Research Project»", *TECHNE*, (48) 120-132. <https://doi.org/10.4000/TECHNE.2707>.
- EREN, G. (2010). *3D scanning of transparent objects*, Graduate School of Engineering and Natural Sciences. Université de Bourgogne. Disponible en: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/216960> (Accedido: 5 de marzo de 2022).
- FELICÍSIMO, Á.M. Y POLO, M.E. (2022). «Measurement and control of colour fidelity in scanned 3D models for heritage conservation», *Journal of Cultural Heritage*, 56: 159-166. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2022.06.010>.
- FORBES, K., NICOLLS, F., DE JAGER, G. Y VOIGT, A. (2006). «Shape-from-Silhouette with Two Mirrors and an Uncalibrated Camera», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 3952 LNCS, 165-178. https://doi.org/10.1007/11744047_13.
- GARCÍA-MOLINA, D. F. (2021). "Digitalization and 3D Documentation Techniques Applied to Two Pieces of Visigothic Sculptural Heritage in Merida through Structured Light Scanning", *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 14(4): 1-19. <https://doi.org/10.1145/3427381>.
- GRACIANO, A., ALVARADO, L., SEGURA, R.J. Y FEITO, F.R. (2017). "Digitization of religious artifacts with a structured light scanner", *Virtual Archaeology Review*, 8(17), 49-55. <https://doi.org/10.4995/VAR.2016.4650>.

- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, Ó., ARANDA, D., MARURI, A., STERP, E., SÁNCHEZ-ORTIZ, A. (2022). "3D Digital Technologies for the Elaboration of a Replica of a Dermatological Didactic Model Belonging to the Olavide Museum from the Original Mould", *Heritage*, 5(2): 702-715. <https://doi.org/10.3390/HERITAGE5020039>.
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, Ó., SÁNCHEZ-ORTIZ, A. (2019). "Digitization and 3D printing for the reconstruction of volumetric losses in an anatomical wax model of the 18th century", *Conservar Património*, 30: 59-72. <https://doi.org/10.14568/cp2018003>.
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, Ó., SÁNCHEZ ORTIZ, A. Y MATÍA MARTÍN, P. (2019). "Anatomía animal. Técnicas digitales para la reconstrucción escultórica de la apariencia original de un modelo de cera del siglo XIX", *Intervención, Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, 10(19): 64-76. <https://doi.org/10.30763/intervencion.2019.19.209>.
- HU, B., BROWN, C. Y NELSON, R. (2005). Multiple-view 3-D Reconstruction Using a Mirror. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/df40/d4505c1ddd4111bca9517a57a25b5292934e.pdf>.
- HUANG, P.H. Y LAI, S.H. (2006) "Contour-based structure from reflection", *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1(October 2014), 379-386. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2006.88>.
- IHRKE, I. RESHETOUSKI, I., MANAKOV, A., TEVS, A., WAND, M. Y SEIDEL, H.P. (2012). A kaleidoscopic approach to surround geometry and reflectance acquisition», en *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 29-36. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2012.6239347>.
- JUN, M.B.G., JOSHI, S.S., DEVOR, R.E. Y KAPOOR, S.G. (2008) "An experimental evaluation of an atomization-based cutting fluid application system for micromachining", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 130(3): 0311181-0311188. <https://doi.org/10.1115/1.2738961>.
- LAYCOCK, S.D., BELL, G.D., CORPS, N., MORTIMORE, D.B., COX, G. Y MAY, S.(2015) "Using a combination of micro-computed tomography, CAD and 3D printing techniques to reconstruct incomplete 19th-century cantonese chess pieces", *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 7(4) . <https://doi.org/10.1145/2629682>.
- LIU, M., HARTLEY, R. Y SALZMANN, M. (2013) "Mirror surface reconstruction from a single image", *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (June), 129-136. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2013.24>.
- DE LUCA, D., GIUDICE, M. DEL, GRASSO, N., MATRONE, F., OSELLO, A. Y PIRAS, M. et al. (2019) "Handheld volumetric scanner for 3D printed integrations of historical elements: comparison and results", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W15). <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-381-2019>.
- MONTUSIEWICZ, J., MIŁOSZ, M., KĘSIK, J., Y ŻYŁA, K. (2021). "Structured-light 3D scanning of exhibited historical clothing—a first-ever methodical trial and its results", *Heritage Science*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/S40494-021-00544-X>.
- NIQUET, N.D. Y MÁZ-BARBERÁ, X. (2018). "El Registro 3D como medio para el análisis y difusión del patrimonio escultórico. El caso de la escultura en cera del Écorché", *Ge-conservación*, 13: 05-16. <https://doi.org/10.37558/GEC.V13I0.551>.
- DI PAOLA, F. Y INZERILLO, L. (2018). "3D reconstruction-reverse engineering-digital fabrication of the Egyptian Palermo stone using by smartphone and light structured scanner", en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-311-2018>.
- DI PAOLA, F., MILAZZO, G. Y SPATAFORA, F. (2017) "Computer aided restoration tools to assist the conservation of an ancient sculpture, The colossal statue of Zeus enthroned", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W5): 177-184. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-177-2017>.
- PAPADAKI, A.I., AGRAFIOTIS, P., GEORGOPOULOS, A. Y PRIGNITZ, S. (2015). "ACCURATE 3D SCANNING OF DAMAGED ANCIENT GREEK INSCRIPTIONS FOR REVEALING WEATHERED LETTERS", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5-W4(5W4): 237-243. <https://doi.org/10.5194/ISPRSARCHIVES-XL-5-W4-237-2015>.
- PARK, J. Y KAK, A.C. (2008). "3D modeling of optically challenging objects", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(2): 246-262. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.1069>.
- PATAY-Horváth, A. (2014). "The virtual 3D reconstruction of the east pediment of the temple of Zeus at Olympia an old puzzle of classical archaeology in the light of recent technologies", *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1(1):12-22. <https://doi.org/10.1016/J.DAACH.2013.06.001>.
- RANTOSON, R., STOLZ, C., FOFI, D. Y MÉRIAUDEAU, F. (2010). "3D reconstruction of transparent objects exploiting surface fluorescence caused by UV irradiation", *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*, 2965-2968. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2010.5653448>.
- RESHETOUSKI, I. Y IHRKE, I. (2013). "Mirrors in computer graphics, computer vision and time-of-flight imaging», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8200 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-642-44964-2_5/COVER.
- RIQUELME, A.J., FERRER, B. Y MAS, D. (2017). "Use of high-quality and common commercial mirrors for scanning close-range surfaces using 3D laser scanners: A laboratory experiment", *Remote Sensing*, 9(11): 1-13. <https://doi.org/10.3390/rs9111152>.
- STERP MOGA, E., HERNÁNDEZ-MUÑOZ, Ó. Y SÁNCHEZ-ORTIZ, A. (2020). "Aplicación de fuentes de iluminación en modelos fotogramétricos para la diagnosis y restauración virtual de objetos en

cera policromados”, *Conservar Património* [Preprint]. <https://doi.org/10.14568/cp2020021>.

TAKAHASHI, K. Y NOBUHARA, S. (2022). “Structure of Multiple Mirror System from Kaleidoscopic Projections of Single 3D Point”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(9): 5602-5617. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3070347>.

TARINI, M., LENSCH, H.P.A., GOESELE, M. Y SEIDEL, H.P. (2005). “3D acquisition of mirroring objects using striped patterns”, *Graphical Models*, 67(4): 233-259. <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2004.11.002>.

VALINASAB, B., RUKOSUYEV, M., LEE, J., KO, J. Y JUN, M.B.G. et al. (2015) “Improvement of Optical 3D Scanner Performance Using Atomization-Based Spray Coating”, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 24(1): 23-30. <https://doi.org/10.7735/KSMTE.2015.24.1.023>.

Autor/es



Óscar Hernández-Muñoz
oscarhernandez@ucm.es
Departamento de Diseño e Imagen. Facultad de Bellas Artes. UCM
<https://orcid.org/0000-0002-1226-4789>

Profesor del departamento de Diseño e Imagen de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Doctor por la UCM (2010), licenciado en Bellas Artes (UCM, 2007) y en Medicina y Cirugía (UCM, 1994). Su principal línea de investigación está relacionada con la aplicación de las tecnologías de digitalización e impresión 3D en la conservación y restauración de modelos anatómicos históricos de carácter didáctico, tema sobre el que ha realizado diversas publicaciones en revistas científicas y también presentado diferentes conferencias y ponencias en congresos nacionales e internacionales. Ha participado en diferentes proyectos competitivos de I+D+i, habiendo sido recientemente codirector del proyecto de investigación *Metodologías innovadoras en conservación de colecciones científicas con modelos didácticos de Botánica, Anatomía humana y animal basadas en tecnologías 3D* (Ref.: PGC2018-098396-B-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades como parte del Programa Estatal de Generación del Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+i. Actualmente, es codirector del Grupo de Investigación UCM Arte, Tecnología, Imagen y Conservación del Patrimonio Cultural (Ref. 970923).



Emanuel Sterp Moga
emasterp@ucm.es
Departamento de Pintura y Conservación-Restauración. Facultad de Bellas Artes. UCM
<https://orcid.org/0000-0002-0158-1084>

Emanuel Sterp Moga es conservador-restaurador del Patrimonio Cultural. Se graduó en la Universidad Complutense de Madrid durante el año 2017 obteniendo la Cátedra Autric Tamayo con

su Trabajo Fin de Grado. Ha sido galardonado con el 1º Premio de Jóvenes Investigadores en Conservación y Restauración de Patrimonio Cultural otorgado por el GE-IIC en 2019. Sus líneas de investigación se centran en las nuevas tecnologías 3D aplicadas al Patrimonio Cultural, y la utilización de imanes de neodimio en diferentes procesos de conservación-restauración en pinturas de caballete. Es autor de varios artículos y ponencias en congresos nacionales e internacionales y cuenta con dos patentes. Es miembro del grupo de investigación UCM-Arte, Tecnología, Imagen y Conservación del Patrimonio Cultural (ref. 970923). Ha participado en diversos proyectos de Innovación Docente, así como proyectos I+D+i. Actualmente, es investigador predoctoral FPI (ref. PRE2019-087870).



Alicia Sánchez-Ortiz
alicia-sanchez@art.ucm.es
Departamento de Pintura y Conservación-Restauración. Facultad de Bellas Artes. UCM
<https://orcid.org/0000-0002-3358-1943>

Alicia Sánchez Ortiz es Profesora Titular en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid. Imparte docencia en las titulaciones oficiales de grado, máster y doctorado. Cuenta con una amplia trayectoria investigadora en conservación y difusión de colecciones científicas didácticas en museos universitarios, habiendo dirigido varios proyectos competitivos I+D+i. Es autora de patentes, monografías, capítulos de libro y de numerosos artículos en revistas indexadas del ámbito del arte y la conservación. Ha participado como ponente y conferenciante invitada en congresos, seminarios y cursos de especialización, tanto nacionales e internacionales. Su línea de investigación está centrada en la puesta a punto de nuevas estrategias metodológicas para la conservación-restauración del patrimonio histórico-artístico y científico-técnico. Dirige, junto con Óscar Hernández-Muñoz, el Grupo de Investigación UCM (Ref. 970923) *Arte, Tecnología, Imagen y Conservación del Patrimonio Cultural*.

Artículo enviado 08/04/2022
Artículo aceptado el 21/04/2023



<https://doi.org/10.37558/gec.v23i1.1110>