

El registro 3D como medio para el análisis y difusión del patrimonio escultórico. El caso de la escultura en cera del Écorché

Nicolas Didier Niquet y Xavier Mas-Barberà

Resumen La aplicación de las tecnologías de registro tridimensional en el ámbito de la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural constituye una herramienta y un procedimiento de gran potencial que, hoy en día, resulta imprescindible para la documentación y la planificación de una intervención, especialmente si se trata de material escultórico-ornamental. En la última década, estas tecnologías han experimentado un fuerte y rápido crecimiento que han motivado la aparición en el mercado de multitud de herramientas precisas con distintas propiedades en cuanto a manejabilidad y nivel de resolución se refiere. Este trabajo muestra el procedimiento de registro 3D llevado a cabo en una copia del Écorché de Houdon, figura escultórica a tamaño real realizada en cera, que se encuentra expuesta en el hall de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Politécnica de Valencia. En el proceso se ha empleado un escáner láser portátil de luz blanca de altas prestaciones modelo GoScan3D de la compañía Creaform. Asimismo, se han analizado los diferentes factores que intervienen en el registro de la obra (tamaño, composición, brillos, estado de conservación) y, los derivados de la tecnología empleada con respecto a las características de la pieza (triangulación, resolución, reverberación de la superficie de la obra en contacto con la luz del escáner, absorción de colores oscuros y posicionamiento en relación a la superficie de la obra, entre otros). De igual modo, se han interpretado los datos recogidos y, posteriormente, se han optimizado mediante el software VXelements®. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la versatilidad de la herramienta y la calidad del elemento 3D de modo que mejora los procesos de análisis y la difusión de la obra en medios virtuales e interactivos.

Palabras clave: registro 3D, escultura en cera, impresión 3D, difusión del Patrimonio Cultural

The 3D register as a means for the analysis and dissemination of the sculptural heritage. The case of the wax sculpture of the Ecorché

Abstract: The application of 3D registration technologies in the field of the Conservation and Restoration of Cultural Heritage is a tool and a procedure of great potential that, today, is essential for the documentation and planning of an intervention; especially if it is sculptural-ornamental material. In the last decade, these technologies have experienced strong and rapid growths, which led to the appearance of a multitude of precise tools with different properties of manageability and level of resolution in the market. This work shows the 3D registration procedure carried out on a copy of the Houdon Écorché, a real sculpture made of wax, which is exposed in the hall of the Faculty of Fine Arts of the Polytechnic University of Valencia. For the registration process a high-performance white light portable laser scanner, model GoScan3D from Creaform Company, has been used. Likewise, the different factors involved in the registration of the work and derived from the technology used itself with respect to the characteristics of the piece have been analysed (such as size, composition, brightness, state of conservation, triangulation, resolution, reverberation of the surface of the work in contact with the light of the scanner, absorption of dark colours and positioning in relation to the surface of the work). Similarly, the collected data using the VXelements software have been interpreted and subsequently optimized. The results show the versatility of the tool and the quality of the 3D registration, improving the analysis processes and the diffusion of the artwork in virtual and interactive media.

Keyword: 3D scan, wax sculpture, 3D print, dissemination of Cultural Heritage

O registo 3D como meio de análise e divulgação do património escultórico. O caso da escultura de cera da Ecorché

Resumo: A aplicação de tecnologias tridimensionais a Conservação e a Restauração do Património Cultural constitui uma ferramenta e um processo de grande potencial que, hoje, é essencial para a documentação e o planeamento de qualquer intervenção; especialmente, se for sobre uma obra escultórica-ornamental. Na última década, observou-se um crescimento forte e rápido da utilização dessas tecnologias, o que provocou a emergência no mercado de uma multidão de material tecnológico com propriedades diferentes em termos de capacidade,

de maniabilidade e de resolução gráfica. Este trabalho mostra o processo de registro 3D realizado sobre uma cópia do Houdon Écorché, uma verdadeira escultura composta de cera, que é exposta no salão da Faculdade de Belas Artes da Universidade Politécnica da cidade de Valência. No processo, utilizou-se um modelo de scanner a laser portátil com luz branca de alto desempenho, GoScan3D, da empresa Creaform. Da mesma forma, os diferentes fatores envolvidos no registro do trabalho (tamanho, composição, brilho, estado de preservação) e, derivados da tecnologia utilizados em relação às características da peça (triangulação, resolução, reverberação de a superfície do trabalho em contato com a luz do scanner, a absorção de cores escuras e o posicionamento em relação à superfície do trabalho, entre outros). Da mesma forma, os dados coletados foram interpretados e posteriormente otimizados, usando o software VXelements. Os resultados obtidos mostram a versatilidade do material e a qualidade do elemento 3D para melhorar os processos de análise e a difusão do trabalho em meios de difusão virtuais e interativos.

Palavras-chave: registro 3D, escultura de cera, impressão em 3D, divulgação do patrimônio cultural

Introducción

A lo largo de los siglos se han desarrollado actuaciones sobre los objetos artísticos con el fin de mantenerlos y copiarlos. Tradicionalmente, en el campo de la escultura el método más común era a través de la técnica de moldeado a base de teselas de yeso y esparto que envolvían la pieza, empleando sustancias naturales como separadores. En la década de los setenta del s. XX avanza las tecnologías y el método de estudio y reproducción se perfecciona con el empleo de resinas sintéticas y elastómeros silicónicos, a pesar de los inconvenientes que éstos presentaban por su acción invasiva (Mas-Barberà 2011). Actualmente, los modelos digitales 3D permiten desarrollar alternativas sin alterar los originales, de modo que son manipulados virtualmente de cara a propuestas previas (análisis y diagnóstico) y actuaciones posteriores (restauración y conservación preventiva).

En el ámbito del Patrimonio Cultural, la importancia del registro 3D y la documentación mediante técnicas digitales es una práctica innovadora que está experimentando un desarrollo exponencial. En este sentido, en los ámbitos de la arquitectura, la paleontología, la arqueología o la escultura, la toma de datos tridimensionales es un método de trabajo establecido, dado que se trata de metodologías no destructivas y muy gráficas que, a su vez, permiten el monitoreo en tiempo real, la visualización sin manipulación, la intervención virtual y la difusión de las colecciones a través de espacios virtuales.

La adquisición de datos y la optimización persigue la obtención del modelo digital 3D, el cual se constituye como la copia fidedigna con respecto al original en alta resolución y contribuye significativamente a la documentación digital, la cartografía, la conservación y la difusión del patrimonio.

En los últimos años, esta mayor utilidad y aplicabilidad de las técnicas avanzadas en 3D vienen dadas por actos de destrucción asociados a conflictos bélicos y catástrofes, que han visto en los modelos digitales 3D y su reproducción un atenuante para conservar y transmitir el arte a generaciones venideras (Ruiz Torres 2017: 148).

En cierto modo, la explotación y aplicación de estas nuevas metodologías en el ámbito de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales está directamente

sujeta a la evolución de otros ámbitos de aplicación. La industria proporciona herramientas cada vez más punteras que permiten superar procesos de mayor complejidad. La cuestión radica en que las técnicas empleadas en Conservación y Restauración han experimentado, a lo largo de su historia, una evolución a raíz de los avances de otros ámbitos industriales (ortodoncia, ingeniería, medicina, entre otros). De igual modo, existen otros muchos sectores, entre los que destacan los referidos a la comunicación audio-visual (cine, video juegos, publicidad, marketing, entre otros) que han experimentado una rápida evolución tecnológica y que traen consigo avances susceptible de ser aplicados en el campo de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales, especialmente en el ámbito escultórico-ornamental.

En el caso de las técnicas de registro 3D existe un amplio abanico de herramientas disponibles en el mercado, más o menos accesibles, en función de las necesidades de uso. La técnica más asequible, y por lo tanto más empleada, es la técnica fotogramétrica que consiste en la obtención de un modelo tridimensional a partir de una serie de fotografías de la obra en múltiples ángulos. Si bien es cierto que se pueden obtener resultados muy positivos, sin embargo, éstos necesitan un post proceso mayor y más subjetivo por parte del técnico que puede repercutir notablemente en la fidelidad del registro 3D. Por lo que respecta a los escáneres 3D, se pueden encontrar múltiples tipos, tantos como aplicaciones se precisen. Éstos pueden ser de largo y medio alcance (LiDAR) o de corto alcance (Ruiz Torres 2017: 141); también, por contacto o sin contacto; los primeros son poco empleados en obras de arte debido a su naturaleza invasiva; en cambio, los escáneres sin contacto funcionan por tiempo de vuelo (Time to Flight) mediante la emisión de pulsaciones láser hacia sensores a 360 grados calculándose el tiempo de respuesta. Este tipo de escáner es fijo y se emplea más comúnmente en el ámbito arquitectónico. Finalmente, hay disponibles otro tipo de escáneres sin contacto, conocidos como escáneres de triangulación, que consisten en la triangulación (objeto, láser, cámara) de la deformación de una proyección unidireccional de un láser, o bien, un patrón de luz estructurada sobre la superficie del objeto a registrar a través de cámaras (Portillo Amavisca 2011) [figura 1].

A raíz de este estado del arte, el objetivo principal del presente estudio fue plantear un guión de buenas

prácticas durante el registro 3D de una obra de arte en cera, desde la toma de datos hasta la explotación de resultados en sus distintas aplicaciones. Asimismo, el procedimiento permitió documentar, archivar, analizar y difundir la pieza que, dadas sus características físicas, su estado de conservación y su sistema expositivo, presentaba un margen muy limitado y con alto riesgo de manipulación.

Materiales y metodología

—La pieza del Écorché

El estudio se ha desarrollado sobre una copia en cera de tamaño real (175 cm aprox) del Écorché de Houdon. La pieza, de origen desconocido, forma parte de los Fondos Artísticos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y está expuesta en el hall de la Facultad de Bellas Artes. Atribuida supuestamente al escultor valenciano Ignacio Vergara Gimeno (s. XVIII) o, más bien, a algún discípulo habilidoso, muestra un trabajo cuidado y academicista. La pieza escultórica presenta la pérdida del brazo derecho a la altura del hombro y, los estudios previos radiográficos confirmaron el uso de una estructura interna de metal que actuaba a modo de sostén (Madrid 2012). Fue intervenida de manera preventiva a finales de 2013.

Instrumentación

En la realización del registro 3d, análisis y difusión del Écorché se emplearon los siguientes equipos:

- Un escáner láser portátil GO!SCAN50 con una resolución de 0.5 – 2 mm, con registro de 30 – 300 cm, luz blanca, captación de color y registro a escala real de la compañía CREAFORM (Creaform) [figura 1.a].
- Una estación gráfica MSI WS72 Intel Core i7-6700HQ con 16 GB RAM, 1TB+512SSD, Quadro M2000m y 17.3"4K de altas prestaciones para soportar grandes y pesados archivos.
- Una tableta gráfica Wacom Intuos proM para modelar y ajustar los registros 3D.
- Una Impresora 3D Form2 de FORMLABS SLA con espesor de capa de 25 – 100 μ, plataforma de fabricación de 145x145x175 mm y láser de 140 μ y 250 mW (Formlabs).

Finalmente, los distintos softwares empleados para la realización del trabajo 3D fueron: VXelements (Creaform), VXmodel (Creaform), Zbrush (Pixologic), Keyshot (Luxion) y Preform (Formlabs).

Metodología experimental

La metodología llevada a cabo se organizó en tres fases bien diferenciadas que se exponen a continuación.

—Fase 1: Toma de datos

Como en cualquier intervención sobre un Bien Cultural, el primer paso se centró en una exhaustiva preparación y organización del trabajo. Actualmente, el uso de las técnicas de registro (fotogrametría y/o escáner láser) plantea una serie de interrogaciones a la hora de tomar los datos, como por ejemplo: ¿Cuántas tomas se van a realizar?, ¿en qué orden?, ¿cuál será el punto de inicio y el de finalización?, entre otros aspectos. Asimismo, resulta importante analizar las características de la obra, así como su estado de conservación, dado que constituye un factor clave en la preparación de la intervención. De igual modo, el tamaño de la obra también entraña aspectos a considerar, ¿se podrá registrar en una misma parte?; en caso contrario, ¿en cuántas partes?, ¿dónde se localizarán las zonas de unión entre cada parte con el fin de optimizar el post-procesado?. Finalmente, las características superficiales de la obra son relevantes puesto que cabe tener en cuenta el nivel de brillo de la superficie y la presencia de colores oscuros. Como la adquisición de datos se realiza a través de una fuente lumínica, si la superficie del objeto presenta demasiado brillo, el contacto de la luz con la misma producirá una reverberación que puede traducirse en deformaciones, excesivo ruido o, incluso, faltantes volumétricos. De igual modo, en las superficies oscuras se produce, durante la toma de datos, la absorción del espectro cromático del que la luz se compone, lo que se traduce en pérdidas de información (Graciano 2017: 51).

Concretamente, en esta investigación se empleó para el proceso de toma de datos el escáner láser GO!SCAN50 de CREAFORM, compañía pionera en el desarrollo de tecnologías de metrología y digitalización 3D [figura 1.a]. Se trata de un escáner láser portátil de altas prestaciones, un aparato ergonómico dotado de un proyector de luz blanca, tres cámaras (dos destinadas a la triangulación de los datos y una a la captación de color) y un sistema de iluminación para la eliminación de sombras. Entre sus características, cabe mencionar que es un aparato óptimo para el registro de piezas medio-grandes, es decir, entre 25 y 300 centímetros de altura (estos son datos referidos al tamaño de registro por sesión; el registro de obras mayores se puede realizar por partes); también tiene una resolución de registro entre 2 y 0,5 milímetros. Permite obtener modelos tridimensionales a escala 1:1, de modo que obtiene datos de medición de las distintas partes de la pieza; y, facilita información cromática de la superficie permitiendo realizar estados de conservación más fidedignos e interactivos.

Una de las ventajas del escáner láser empleado es el paquete de software desarrollado por la misma compañía, que permite visualizar en tiempo real la toma de datos y, a su vez, observar las zonas que faltan por registrar. Otro aspecto relevante es el seguimiento del software del "itinerario" recorrido, mediante toma de puntos clave, denominados blancos^[1]. De este modo, se determina la posición del escáner en relación con la obra, lo que permite

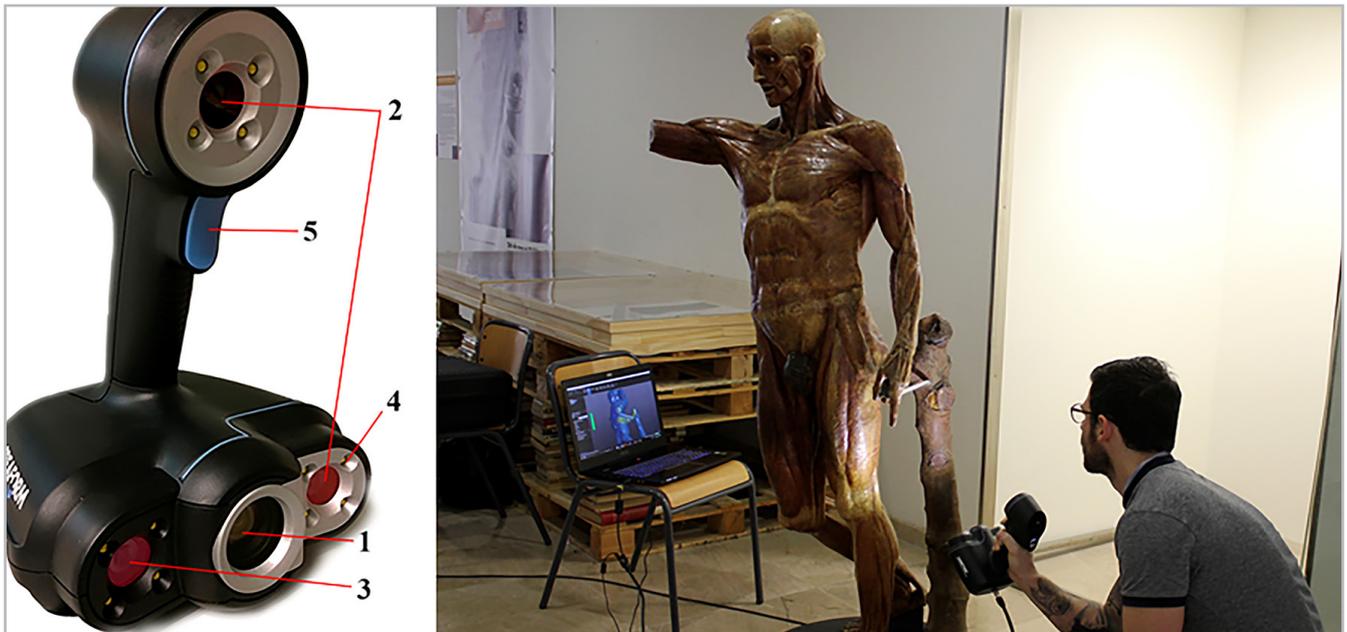


Figura 1.- Escáner GO!SCAN50 y proceso de registro 3D. Izqda. Partes del escáner: 1. Proyector de luz blanca, 2. Cámaras de triangulación, 3. Cámara color, 4. Luces circulares y 5. Gatillo. Dcha. Registro 3D de la pieza escultórica en cera del Écorché ubicada en el hall de la Facultad de Bellas Artes (UPV).

retomar el registro en un punto anterior insistiendo en la toma de datos en zonas más detalladas o de más difícil acceso.

Para el registro de la escultura del Écorché se realizó un primer barrido general empezando por la cabeza para finalizar en el pedestal. Se efectuó un segundo barrido de modo continuo insistiendo en las zonas de difícil acceso.

Dadas las particularidades mencionadas a la hora de llevar a cabo el proceso de toma de datos, en la mayoría de las veces se requiere de la utilización de blancos adheridos sobre la superficie de la obra. Sin embargo y, puesto que la obra presentaba una superficie cromática muy detallada, se optó por parametrizar la captación de blancos de manera automatizada mediante variaciones cromáticas [figura 2], minimizándose así el contacto con la pieza.

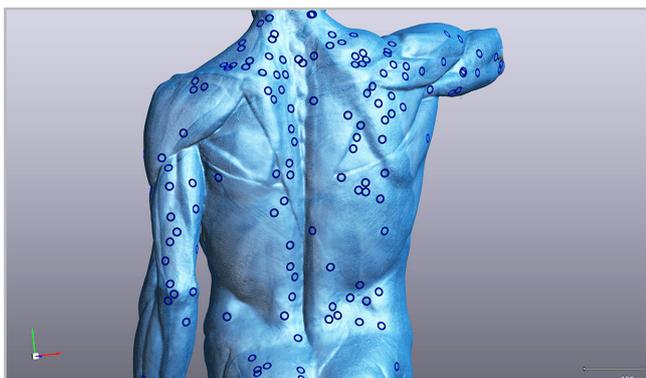


Figura 2.- Blancos captados automáticamente según variaciones cromáticas

En cuanto al brillo superficial de la obra, relativamente elevado debido a la protección, así como el ligero grado de translucidez del material ceroso con efectos de reflejo, éstos fueron paliados usando los parámetros del escáner con un barrido más gradual y controlando la inclinación de la proyección de luz sobre la mayor superficie posible. Sin embargo, se observó la aparición de ruido y pequeñas partículas cerca de la superficie registrada así como mínimas lagunas de datos irrelevantes para la lectura de la superficie de la obra [figura 3].

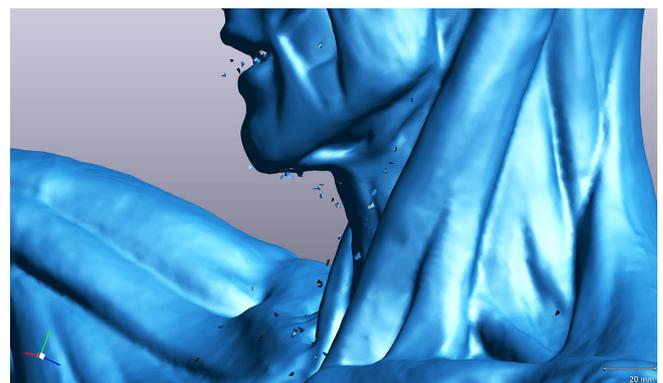


Figura 3.- Presencia de ruido formado por la reverberación de luz en contacto con la superficie.

La problemática de los reflejos y reverberaciones es un tema recurrente en el sector del registro 3D. Existen en el mercado una serie de productos que, aplicados sobre la superficie a registrar, actúan como opacificadores. Entre dichos productos se encuentran sprays y geles con usos poco recomendables sobre Bienes Culturales. Otras veces,

si la obra lo permite, se recurre al uso de polvos inertes en suspensión (p.ej. talco) en una fina e uniforme capa sobre la superficie de la pieza. Una de las desventajas de este tipo de productos es su retirada, más cuando se trata de Bienes Culturales con estados de conservación “delicados”. De igual modo y, según las características de la obra (policromía, porosidad, pátinas, textura superficial, entre otras), resulta lógico que permanezca residuo atrapado, ocasionándose nuevos daños. Finalmente, hay un estudio reciente que propone el uso del hidrocarburo ciclododecano como opacificador aplicado en determinados materiales arqueológicos (p.ej. vidrio) y por su compatibilidad con las propiedades intrínsecas del material (Díaz-Marín 2016).



Figura 4.- Malla obtenida de la nube de puntos

—Fase 2: Tratamiento de la nube de puntos y obtención de la malla

La segunda fase tras el registro in-situ fue la obtención del modelo 3D. Se trata del post-procesamiento de los datos obtenidos. Para ello se realizó, en primer lugar, la “limpieza” de la nube de puntos. Este proceso suele realizarse a través del mismo software con el que funciona el escáner, en este caso VXelements®. Esta “limpieza” es un primer barrido a través del cual se elimina la información innecesaria, es decir, el ruido. Posteriormente, el mismo software es capaz de calcular una malla formada por polígonos, por lo general triangulares, más o menos uniformes según la calidad del registro y de la tecnología empleada [figura 4].

En este punto, y previo a desarrollar cualquier modificación sobre la malla obtenida, es primordial ajustarla. Este proceso, se realiza también con el software mencionado, y consiste en arreglar errores en el cálculo de la malla, como polígonos invertidos (todas las caras “hacia fuera” de la malla), ajustar los puentes angostos (unión demasiado fina entre polígonos, creando tensiones en la malla) o retocar pequeños faltantes.

Obtenidos los criterios con valor igual a 0 se puede exportar la malla para ser explotada en diferentes softwares de modelado 3D. Se aconseja exportar el archivo como objeto^[2], pues en caso de tener información cromática, como es el caso de la escultura del Écorché, se exportará junto al modelo. En general, se trata de una fase delicada puesto que un error común en el tratamiento de la nube de puntos suele ser la omisión de pequeños detalles, aparentemente insignificantes para la buena continuación del post-proceso pero que, a posteriori, entrañan un retroceso en el trabajo, perdiéndose un tiempo considerable. En este sentido, también se aconseja realizar una copia del archivo en cada paso del post-procesado de modo que, si ocurriese un error, la práctica más rápida sería retroceder a un estado anterior. De igual modo, para la correcta optimización del modelo, también se aconseja realizar los pasos imprescindibles sin excederse, pues de lo contrario puede perderse información no discernible a simple vista y, en la práctica, susceptible de desvirtuar el resultado final.

—Fase 3: Optimización de la malla para su difusión

Llegados a este punto y antes de tratar la malla, resulta importante conocer previamente el propósito al cual se destinará la optimización de dicha malla, pudiendo ser éste el archivar o catalogar el repositorio 3D de la obra, estudiar o analizar la obra de forma remota, difundir la obra en una exposición virtual (musealización, realidad aumentada, entre otras), o bien reproducir la obra a escala usando tecnologías de fabricación aditiva (impresión 3D) o sistemas de fresado (CNC). Existen múltiples softwares susceptibles de ofrecer las herramientas afines a las aplicaciones deseadas. La elección de unos u otros software reside en las necesidades, preferencias y capacidades de cada usuario. De hecho, algunos softwares resultan más efectivos a la hora de realizar un modelado geométrico, otros son más efectivos para un modelado más orgánico y, otros son mejores para el tratamiento de texturas, fibras o partículas. Entre los más empleados, cabe destacar: Blender (Blender), Autodesk® Maya y Autodesk® 3Ds Max (Autodesk®), Zbrush® (Pixologic) y Cinema4D® (Maxon).

Para el caso de la pieza en cera del Écorché, se aplicaron técnicas de optimización empleadas en la creación de videojuegos y/o animación. Se trata de una industria creativa con un flujo de procesos de marcada respuesta sensorial que mejora las experiencias visuales de sus usuarios. Es, por tanto, un aspecto relevante en la explotación del modelo 3D al permitir interactuar y ampliar la percepción real del objeto. El método consiste en disminuir drásticamente el número de polígonos que componen la malla sin perder el detalle del objeto original, pues a mayor número de polígonos, más detalle topológico [figura 5 izqda.]. En la figura 5 der. se puede observar la malla inicial, obtenida de la optimización de la nube de puntos y constituida por un número de polígonos demasiado elevado para una correcta fluidez en la difusión de resultados. De hecho, exportar el modelo en su estado actual representa la manipulación de un archivo muy pesado, aproximadamente 128 megabytes de memoria (aproximadamente a unos 830 000 polígonos), en relación con el tamaño medio de archivos soportados por las plataformas de visualización en línea que, en su gran mayoría, emplean motores de renderizado en tiempo real. Estas plataformas aconsejan la carga de archivos que

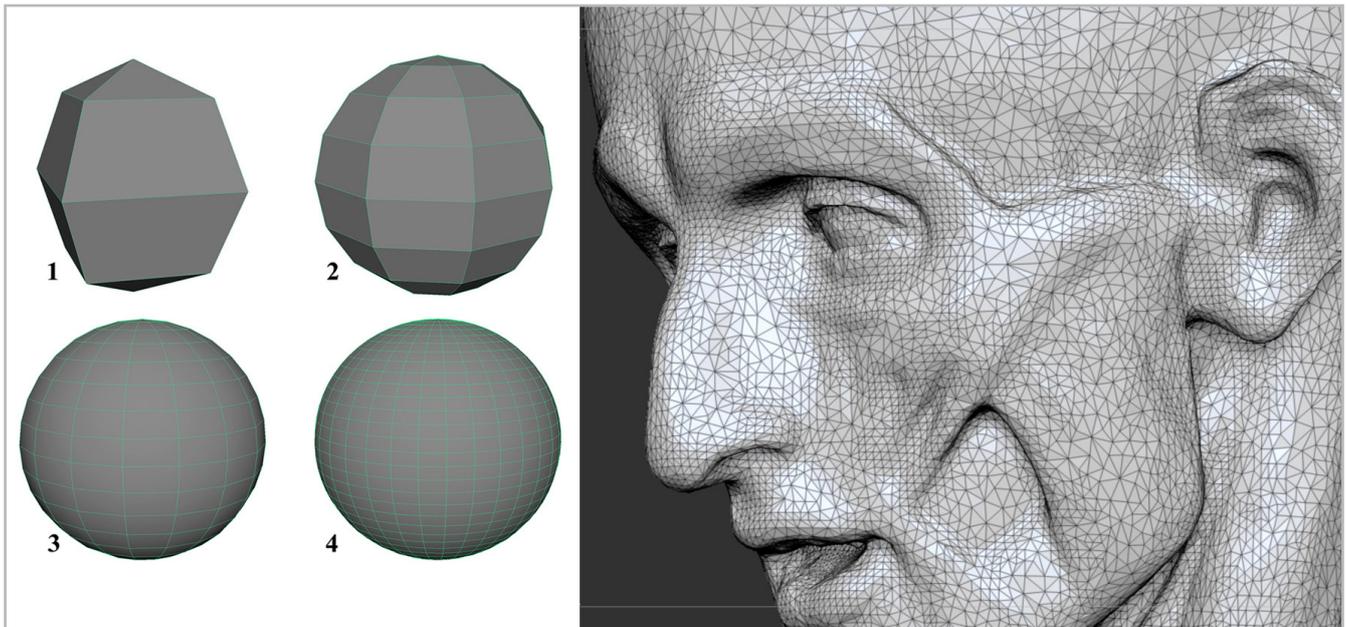


Figura 5.- Método de poligonización. Izqda.: 1 Número de polígonos: 16; 2. Número de polígonos: 64; 3. Número de polígonos: 256; 4. Número de polígonos: 1024. Dcha.: Vista de la malla inicial, detalle del modelo del Écorché. Número de polígonos: 828045.

no sobrepasen los 50 megabytes de memoria con el fin de asegurar un correcto rendimiento de sus aplicaciones. En este caso en particular, se ha reducido la malla a unos 195 000 polígonos (lo cual corresponde aproximadamente 25 megabytes de memoria). Cabe destacar que éstos son valores medios en referencia a las capacidades de rendimientos actuales de los dispositivos de reproducción gráfica, ello no significa que dichas plataformas no estén preparadas para albergar archivos de mayor tamaño.

Prosiguiendo con la metodología utilizada para la optimización del modelo 3D del Écorché, se empleó el software Zbrush® de la firma Pixologic. Se trata de un software muy completo y más usado entre los profesionales del modelado 3D orgánico.

El primer paso llevado a cabo fue la aplicación del color importado junto al modelo 3D. Destacar la importancia en este punto de realizar un duplicado del Tool^[3] en el cual quedan recogidas las modificaciones realizadas y permite retroceder en cualquier momento al registro original. Además, este duplicado es necesario para la proyección de textura sobre la malla modificada.

Seguidamente, sobre el duplicado del Tool original, se efectuó una decimación. Se trata de un proceso de retopología de la malla que vuelve a ser calculada reduciendo el número de polígonos que la componen (Scott-Spencer 2017: 45). Como se puede observar en la figura 6.a, al reducirse el número de polígonos se ha reducido proporcionalmente su nivel de detalle.

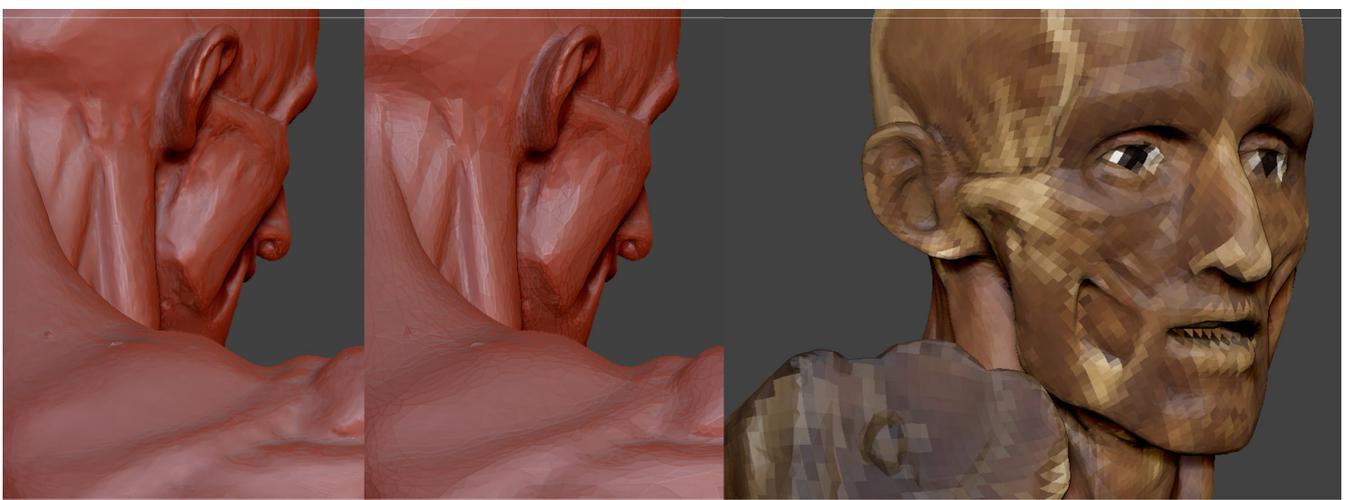


Figura 6.- Optimización de la malla de la escultura del Écorché: Izqda.: Detalle de la malla obtenida y corregida. Centro: Detalle de la malla decimada Dcha.: Detalle del color "pixelado" tras la decimación.

Este proceso de decimación de la malla debe realizarse con prudencia. Tal y como se aprecia en la figura 6 centro, el exceso en la decimación se traduce en una pérdida de detalle superficial por la reducción del número de polígonos y la consiguiente deformación volumétrica. De igual modo, se ha producido una pérdida de información cromática, dado que el color del modelo es el resultado de la coloración plana de cada polígono. Por lo tanto, resulta que a menor número de polígonos mayor tamaño de éstos y, consecuentemente, mayor efecto de pixelación.

Asimismo, en los casos donde la decimación de la malla no permita la aplicación directa del color ni de los detalles sobre la superficie, como ocurrió con el caso del Écorché, se puede aplicar una “segunda piel” mediante una capa superficial denominada “Mapa UV” que contiene la información (detalle superficial más color) precisamente adherida a la malla del modelo 3D. Estos “Mapas UV” constituyen un elemento muy empleado en los procesos, principalmente de renderizado en tiempo real, en los que se precisa la lectura de información virtual del detalle y la textura de manera externa al modelo tridimensional que precisa de una baja poligonización. El uso eficaz de dichos “Mapas UV” se traducirá en un uso de memoria menor que, a su vez, se traducirá en mayor velocidad de respuesta por parte del software, y por lo tanto, en mejoría de la experiencia visual. Dicho esto, este proceso se realiza desplegando la malla tridimensional sobre una superficie plana, como si de un patrón de tela se tratase. Para ello, se le indica al software a qué eje de la malla se refieren los cortes del desplegamiento. Estos cortes deben localizarse en zonas menos visibles y poco relevantes que, al coserse y de nuevo plegarse, recuperan el aspecto tridimensional de la imagen. El “cosido” en cuestión debe ser muy discreto y, en caso de atravesar un detalle importante, el resultado sería como una cicatriz indeseada en la superficie de la obra (Scott-Spencer 2017: 41). Realizados los cortes, se trasfiere la información (detalles superficiales y de color) a sus correspondientes Mapas. Por un lado, el Mapa de normales para la recuperación de detalles superficiales y, por otro lado, el Mapa de textura para la recuperación del color [figura 7]. El empleo simultáneo de ambos Mapas permitirá la recuperación visual, de manera virtual, de la información pérdida durante el proceso de decimado. Para este procedimiento, se utilizó la malla original (Tool duplicada anteriormente) con el fin de proyectar la información sobre la malla decimada y subdividida hasta aproximarla, en número de polígonos, al original. Este paso permite exportar los mapas en formato .jpeg para su posterior uso, y eliminar las subdivisiones anteriormente realizadas con el fin de recuperar el número de polígonos establecidos en la malla optimizada (Scott-Spencer 2017: 42).

El último proceso en la optimización del modelo 3D consistió en exportar la información previamente generada a los distintos motores de renderizado. Estos motores suelen ser, o bien de renderizado pasivo en los que se crean imágenes estáticas o animaciones preconfiguradas a partir del sucesivo renderizado de fotogramas, o bien, pueden ser motores de renderizado en tiempo real, los

cuales renderizan el modelo de forma directa y constante, pudiendo ser manipulado sin un orden establecido previamente. En este sentido, existen multitud de softwares destinados a tales fines, ya sea en forma de plug-in anexo al software de modelado 3D o, constituido como un software integralmente destinado a este proceso. En todos ellos, con algunas variaciones de interfaz, el procedimiento sigue el mismo orden: 1) asignación de un material determinado sobre la malla, 2) asignación de un entorno sobre la escena, 3) parametrado del comportamiento del material asignado, así como del entorno establecido, 4) configuración de la cámara (profundidad de campo, enfoque, distancia y posición en la escena, entre otros), 5) configuración de la animación (si procede) de la cámara o del modelo y, 6) parametrado del formato de la salida de imagen o animación (resolución y extensión, entre otros).

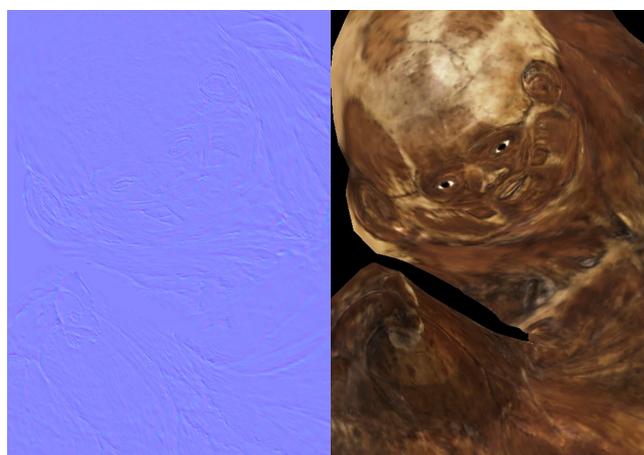


Figura 7. - Izqda: detalle del mapa de normales. Dcha: Detalle del mapa de texturas.

Concretamente, el modelo 3D obtenido del Écorché fue exportado en formato .stl hacia los distintos softwares de curado y generadores de G-codes^[4], a través de los cuales, el modelo 3D es generado según las necesidades y tecnologías de prototipado rápido elegidas.

Resultados

A continuación, se muestran los resultados más sobresalientes del proceso de registro 3D como medio para el análisis y difusión de la pieza en cera del Écorché. Se muestran diferentes imágenes de detalle tanto de renders estáticos como de visualización interactiva, así como de reproducciones a escala mediante sistemas de fabricación aditiva (impresión 3D).

Obtención de imágenes estáticas

Las imágenes estáticas obtenidas fueron renderizadas con el software Luxion Keyshot. Se trata de un software con altas prestaciones elegido de acuerdo a su alta

compatibilidad con el software Zbrush empleado en la optimización del modelo 3D (Scott-Spencer 2017: 40). Además, lleva incorporado un sistema de previsualización a tiempo real, lo cual representa un valor añadido a la hora de parametrizar los distintos valores que influirán de forma directa en los resultados.

Este sistema presenta múltiples posibilidades de renderizado en cuando a la aplicación de materiales, luces y puntos de vista. Como puede apreciarse en la figura 8 der., se renderizan planos generales de la obra bajo distintos ángulos de visión, o bien, se renderizan planos de detalles resaltando datos superficiales concretos [figura 8 der.]. Esto es posible gracias al enlace directo con el software de edición tridimensional que permite “aislar” las zonas requeridas de la pieza con el fin de obtener información a muy alta resolución y facilitar su análisis (por ejemplo, observar patologías y zonas de fractura, presencia de restos de policromía, estratos o testigos de las técnicas y herramientas de trabajo empleadas, entre otros).

La ventaja de este tipo de imágenes estáticas frente a otras, como por ejemplo las imágenes interactivas se debe al uso de motores de renderizado pasivo (no renderizan a tiempo real) que permiten el tratamiento de mallas más pesadas y con mayor capacidad de almacenamiento de la información.

De igual modo, existen otros motores de renderizado (Vray de Chaosgroup; Mental Ray, Iray de Nvidia; Maxwell de Next Limit; Octane de Ottoy o Render Man de Pixar) que, unidos a softwares de modelado 3D, permiten resultados óptimos. La elección de unos u otros residirá en las preferencias de cada usuario así como de la compatibilidad con los softwares durante el proceso de optimización.

Obtención de imágenes interactivas.

La figura 9 presenta la pieza 3D del Écorché incorporada en una plataforma virtual que permite su difusión, exposición y/o musealización. Este medio aúna una ficha descriptiva a la derecha (título, categoría, descripción y ubicación) y, a su izquierda, una ventana con un visor basado en tecnología WebGL^[5](Robles Ortega 2017: 83) importado de la famosa base de datos Sketchfab que, a su vez, aporta un sistema de visualización 3D de renderizado a tiempo real tanto en plataformas de escritorio como en plataformas móviles. De manera muy intuitiva, pulsando el icono de “play” ubicado en el centro de la ventana, se accede al modo de manipulación de la obra (rotar, alejar/acercar, mover) con el movimiento del ratón, así como una serie de herramientas suplementarias (ver la malla, posibles notas, opciones de visualización en VR, entre otros) (Díaz Gomez 2015: 33).

Este tipo de plataformas virtuales ofrece a cualquier usuario registrado, ya sean museos o bien particulares, la posibilidad de cargar sus modelos tridimensionales para la difusión de sus obras. En el campo de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales el uso de estas plataformas proporciona, tanto a profesionales como a estudiantes o investigadores, la posibilidad de aplicar sistemas de análisis interactivos tales como: 1) el estudio remoto de una obra inaccesible debido a su ubicación geográfica, 2) la observación de zonas no visibles de piezas dado el sistema expositivo empleado, 3) la vigilancia de la obra debido a su delicado estado de conservación que impide su manipulación, entre otros^[6]. De igual modo, resulta también relevante esta herramienta para la preparación y difusión de estados de conservación interactivos que aportan una visualización, localización y cuantificación fidedigna de las distintas patologías presentes y, por tanto, un preciso plan de intervención.

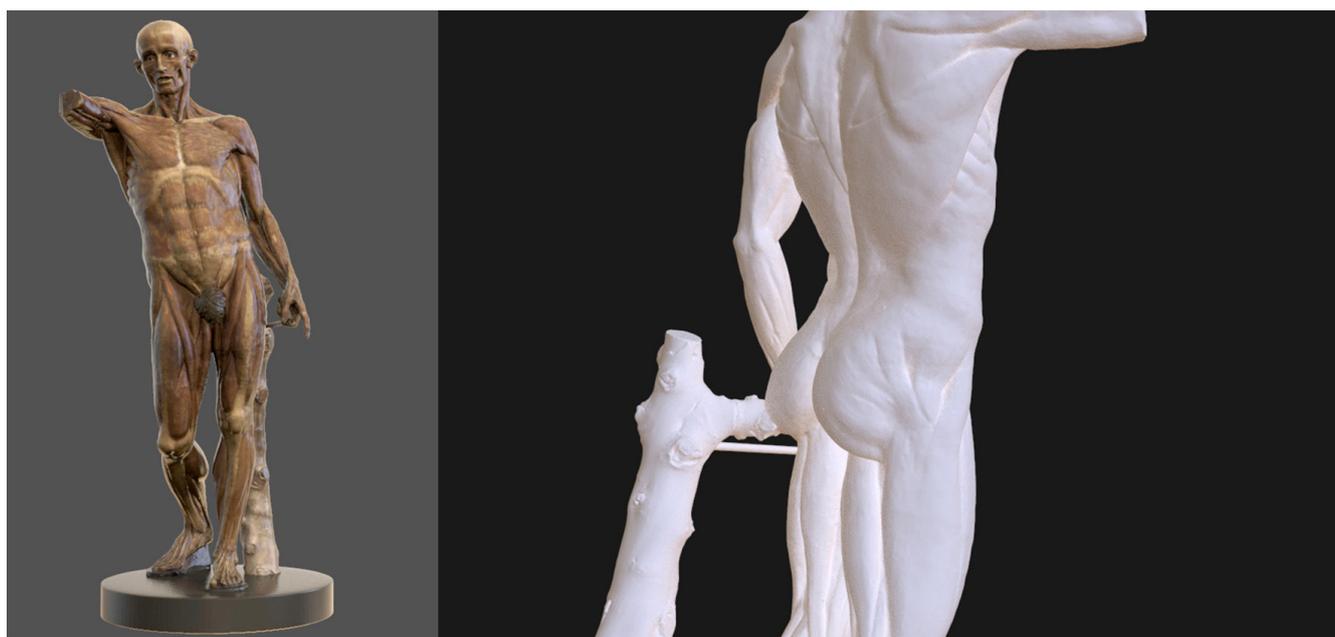


Figura 8.- Izqda.: Vista general de la obra bajo ángulo de visión frontal Der.: Vista de detalle del perfil derecho de la obra seleccionando únicamente la información topológica. Obsérvese que el nivel de detalle obtenido es proporcional a la calidad de registro 3D optimizado.

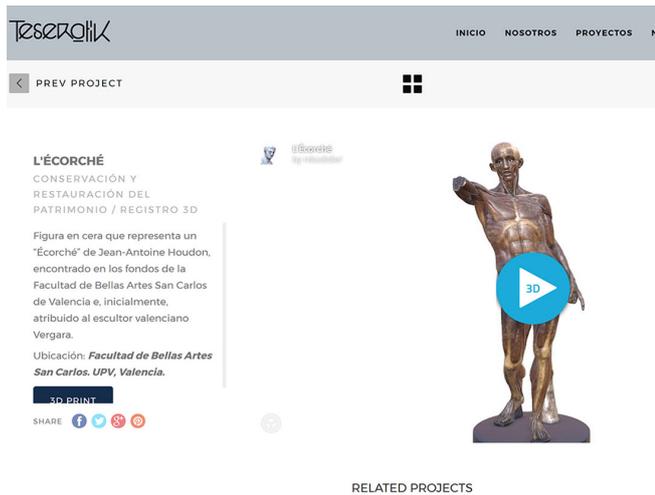


Figura 9.- Écorché en 3D. Izqda. Captura de pantalla de la plataforma de musealización virtual. Disponible en: <http://www.teseratik.com/portfolio/lecorche>. Der. Captura de pantalla del visor 3D en funcionamiento.

Reproducción a escala

Finalmente, el registro 3D de la escultura del Écorché permitió también su reproducción a escala mediante el uso de tecnologías de fabricación aditiva, conocida comúnmente como impresión 3D. Concretamente, y para este caso, se utilizó la malla corregida sin decimar la cual determina el nivel de detalles presente en el modelo impreso.

En este caso, se realizó una reproducción a escala 1:10 [figura 10] mediante impresora estereolitográfica (SLA),

concretamente, una Form2, de la empresa norteamericana Formlabs. Dicha tecnología funciona al accionarse mediante un sistema de espejos un láser ultravioleta que, al entrar en contacto con una resina fotosensible, en estado líquido, se endurece capa a capa (en este caso con un grosor de 50 μ) hasta generar la pieza en su totalidad.

Existen otros tipos de tecnologías de fabricación aditiva disponibles en el mercado. Las más comunes son las que funcionan mediante extrusión de material fundido (FDM), que consisten en la superposición de material (generalmente Poliacido Láctico PLA, o Acrilonitrilo-



Figura 10.- Pieza impresa a escala 1:10. Vista frontal, perfil derecho, vista trasera y perfil izquierdo

Butadieno-Estireno ABS) fundido en sucesivas capas; también, el proceso de sinterizado selectivo láser (SLS) que resulta de la fusión mediante láser de lechos de polvo (generalmente Poliamida o Nylon); otra sería el proceso mediante Polyjet, consistente en la sucesiva aplicación de capas de resina fotopolimérica; o bien, la impresión 3D polícroma (3DP) que consiste en la cohesión de sucesivas capas de polvo que, directamente, se pueden colorear (Berchon 2016).

No cabe duda de que son técnicas que ofrecen respuestas diferentes y la elección de cualquiera de ellas se debe a varios aspectos de acuerdo al objeto a reproducir, como por ejemplo: a) nivel de detalle, b) prototipo o producción, c) resolución de partes intrínsecas, d) presencia o ausencia de color, e) resistencia mecánica requerida, f) resistencia a agentes externos (humedad relativa y temperatura), entre otros. Muchas de estas técnicas se emplean en el ámbito industrial (por ej. aeroespacial, marítimo, militar y/o automovilístico) a pesar de que cada vez son más las empresas que fabrican impresoras 3D “particulares” o “de oficina”. En este sentido, son varias las empresas especializadas en ofrecer servicios de impresión 3D a precios asequibles y en plazos ajustados (Sculpteo y/o i.materialise).

Conclusiones

El presente trabajo muestra los pasos a seguir a la hora de planificar y realizar una intervención de registro 3D de una pieza escultórica, desde el análisis previo hasta la explotación de los resultados a través de diversos canales de difusión. En este sentido, se plantea un guión de buenas prácticas durante el registro 3D de la escultura en cera del Écorché, desde la toma de datos hasta la difusión en sus distintas aplicaciones virtuales y/o tangibles.

El registro 3D resulta un medio de análisis no destructivo y muy gráfico que permite la toma de datos, el monitoreo en tiempo real, la visualización sin manipulación y la difusión a través de plataformas virtuales. La estatua en cera del Écorché se ha incluido en una plataforma de musealización virtual en la que se puede interactuar de manera intuitiva y con alto nivel de detalle.

Asimismo, en el ámbito de la conservación y restauración, esta herramienta resulta eficaz para el registro de estados de conservación interactivos que aportan una visualización, localización y cuantificación fidedigna de las distintas patologías y, a su vez, ayuda a precisar el plan de intervención.

También, el estudio propone nuevos métodos expositivos y de control de la obra a través del registro 3D. Se ha obtenido un conjunto de archivos digitales precisos y útiles que mejoran la documentación, el estudio y la puesta en valor de la escultura del Écorché expuesta en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Politécnica de Valencia.

En definitiva, el desarrollo de estas nuevas tecnologías 3D aplicadas al campo del Patrimonio Cultural ha incrementado la conservación, la puesta en valor y la difusión activa del objeto cultural acercándolo a un público interesado por nuevas formas de información y conocimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los responsables del Fondo de Arte y Patrimonio de la Universitat Politècnica de València la cesión de la pieza del Écorché para su estudio y difusión. Asimismo, expresan su gratitud a la empresa Creaform por la cesión del escáner GO!Scan50 y, finalmente, a Nuno Miguel Pereira por su ayuda en la redacción del resumen en portugués.

Notas

[1] Puntos referenciales, entorno a la superficie a registrar, que sirven para la correcta triangulación de los datos tomados. Éstos pueden ser puntos presentes en el entorno del objeto (partes del paisaje, objetos, o bien uso de periódico como base de la obra registrada) en caso de fotogrametría, o bien por el reconocimiento de variables cromáticas o superficiales en el caso de escáner láser.

[2] .OBJ

[3] Denominación que hace referencia a una herramienta en los softwares que, en Zbrush, también se usa para denominar los distintos objetos presentes en el área de trabajo. Un Tool puede, a su vez, estar compuesto de varios SubTools.

[4] Código que transmite la información útil, (laminado, velocidad, soportes, recorrido, resolución, entre otros) a la máquina (impresora 3D, fresadora CNC) encargada de proceder a la reproducción física de la pieza registrada.

[5] Web Graphics Library. Es un sistema de implantación de gráficos dentro de un navegador web, que permite la lectura y renderizado en tiempo real de un modelo 3D.

[6] La pieza del Écorché esta disponible a través de la página web <http://www.teseratik.com/portfolio/lecorche>

Referencias

BERCHON, M. y LUYT, B. (2016). *La impresión 3D. Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general*. Barcelona. Editorial Gustavo Gili. ISBN: 978-84-252-2854-4

DÍAZ GÓMEZ, F. et al. (2015). “Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual”. *Virtual Archaeology Review*, v. 6, n. 12, p. 29-37, ISSN 1989-9947. [consulta: 11/10/2017]

DÍAZ-MARÍN, C., AURA-CASTRO, E., SÁNCHEZ-BELENGUER, C., et al. (2016). "Cyclododecane as opacifier for digitalization of archaeological glass". *Journal of Cultural Heritage*, 17, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207415001132> [consulta: 11/10/2017]

GRACIANO, A. et al. (2017). "Digitization of religious artifacts with a structured light scanner". *Virtual Archaeology Review*, v. 8, n. 17, ISSN 1989-9947. <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4650> [consulta: 11/10/2017]

MADRID, J. (2012). "Aplicación de la técnica radiográfica digital en el estudio de Bienes Culturales. Caso de estudio de un desollado". *Revista Asociación Española de Ensayos No Destructivos*. 61. ISSN 1888-9166 <http://jmadrid.webs.upv.es/Files/Revista%20AEND%2061%20-%20Arte%20y%20Patrimonio.pdf> [consulta: 11/10/2017]

MAS BARBERÀ, X. (2011). *Métodos de sustitución: La réplica escultórica: Procedimientos de sustitución como intervención de conservación preventiva*. Editorial de la UPV, Valencia, Ref. 2011.513

PORTELLO AMAVISCA, N., MOLINA, L., TRUJILLO, G. (2011). *Escáner láser de objetos tridimensionales: conceptos y diseño*. Alemania : Editorial Académica Española. ISBN 9783846576335

ROBLES ORTEGA, M. D., ORTEGA ALVARADO, L., FEITO HIGUERUELA, F. R. (2017). "Advances in 3D Spatial Information Systems. Applications in cultural heritage and virtual archeology". *Virtual Archaeology Review*, v. 6, n. 12, ISSN 1989-9947. <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4161> [consulta: 11/10/2017]

RUIZ TORRES, D. (2017). *El uso de tecnologías digitales en la conservación, análisis y difusión del patrimonio cultural*. Acción Cultural Española (AC/E). ISBN: 978-84-15272-87-8

SCOTT-SPENCER, M. (2017), *Introduction to Zbrush 4R8*. 2º ed, EEUU, The Gnomon Workshop, <https://www.thegnomonworkshop.com/tutorials/introduction-to-zbrush-4r8> [consulta: 11/10/2017]

Webgrafía

AUTODESK. Autodesk Maya y Autodesk 3DsMax. <https://www.autodesk.es/products> [consulta: 11/10/2017]

BLENDER. Blender <https://www.blender.org/> [consulta: 11/10/2017]

CHAOSGROUP. Vray. <https://www.chaosgroup.com/> [consulta: 11/10/2017]

CREAFORM. <https://www.creaform3d.com/es> [consulta: 11/10/2017]

FORMLABS. Impresora SLA Form2 y software Preform. <https://formlabs.com/> [consulta: 11/10/2017]

I.MATERIALISE. Servicios de impresión 3D. <https://i.materialise.com/> [consulta: 11/10/2017]

IMPRIMALIA. Comparador de impresoras 3d. <http://imprimalia3d.com/impresoras3d> [consulta: 11/10/2017]

MAXON. Cinema 4D. <https://www.maxon.net/es/> [consulta: 11/10/2017]

NEXT LIMIT. Maxwell. <http://www.nextlimit.com/maxwell/> [consulta: 11/10/2017]

NVIDIA. Mental Ray e Iray <http://www.nvidia.es/object/advanced-rendering-es.html> [consulta: 11/10/2017]

OTOY. Octane Render. <https://home.otoy.com/render/octane-render/> [consulta: 11/10/2017]

PIXAR. Render Man. <https://renderman.pixar.com> [consulta: 11/10/2017]

PIXOLOGIC. Zbrush. <http://pixologic.com/> [consulta: 11/10/2017]

SCULPTEO. Servicios de impresión 3D y corte láser. <https://www.sculpteo.com/es/> [consulta: 11/10/2017]

SKETCHFAB. Plataforma de visualización 3D <https://sketchfab.com/models/popular> [consulta: 11/10/2017]



Nicolas Didier Niquet

nikodidier@gmail.com

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, UPV.

Conservador Restaurador de Bienes Culturales especializado en diseño y tecnologías 3D, actualmente, Doctorando por el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP) de la Universidad Politécnica de Valencia, en el Taller de Escultura y elementos Ornamentales. Web: www.teseratik.com



Xavier Mas-Barberà

jamasbar@upvnet.upv.es

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, UPV.

Profesor Titular de Universidad en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat Politècnica de València (UPV). Investigador miembro del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IRP) de la UPV, en el Taller de Escultura y elementos Ornamentales. Participa en diversos contratos y proyectos de I+D+i y dirige diferentes proyectos de investigación desarrollando nuevas metodologías basadas en la aplicación de técnicas y materiales en los procesos de tratamiento y reproducción de obras de arte. Desarrolla trabajos de asistencia y asesoramiento técnico y formación en C+R. La relevancia de estos trabajos queda patente en diversas publicaciones en revistas nacionales e internacionales, actas de congresos especializados y contribuciones a libros.

Artículo enviado el 14/11/2017

Artículo aceptado el 23/05/2018