

Aplicación de las tecnologías 3D en la conservación de la Farmacia Hispanoárabe de la UCM

Application of 3D technologies in the preservation of the Hispano-Arab Pharmacy of the UCM

MARÍA ÁVILA-RODRÍGUEZ

Profesora en la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR)

SONIA SANTOS-GÓMEZ

Profesora titular en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid

El trabajo que aquí se presenta ha tenido como objetivo fundamental la realización de un planteamiento adecuado de conservación-restauración para una obra perteneciente a la Colección de Patrimonio Histórico-Artístico de la UCM: la yesería de la Farmacia Hispanoárabe expuesta en el Museo de la Farmacia Hispana. En esta tarea, se ha considerado como premisa fundamental salvaguardar al máximo la pieza original mediante el empleo de las tecnologías 3D. El registro de la pieza ha sido realizado mediante fotogrametría y se han empleado impresoras 3D en una de las fases del trabajo realizado, además de las técnicas de moldeo tradicionales. Con ello, se ha evitado la realización de un proceso de moldeo directo con los riesgos que podría entrañar este trabajo en cuanto a la alteración de brillo y color de una pieza realizada en yeso y, por tanto, porosa. Por otra parte, los archivos digitales de las piezas digitalizadas constituyen una herramienta que pudiera ser empleada en el futuro cuando fuera preciso para reconstruir otros fragmentos de la yesería.

The work presented here has, as its main objective, the realization of an adequate conservation-restoration approach for a work belonging to the Collection of Historical-Artistic Heritage of the UCM: the plasterwork exhibited in the Hispano-Arab Pharmacy of the Museum of the Hispanic Pharmacy. In this task, it has been considered as fundamental premise to safeguard the original piece as much as possible through the use of 3D technologies. The registration of the plaster work has been carried out by photogrammetry and 3D printers have also been used in one of the phases of the work carried out, in addition to traditional molding techniques. With this, the realization of a direct molding process has been avoided with the risks that this work could entail in terms of altering the brightness and color of a piece made in gypsum and because of this, porous. On the other hand, the digital files of the pieces constitute a tool that could be used in the future when necessary to reconstruct other fragments of the plasterwork.

Palabras clave: Conservación-restauración, escultura, tecnologías 3D, Museos Complutenses, yesería.

Keywords: Conservation-restoration, sculpture, 3D technologies, Complutense Museums, plasterwork.

Introducción. Objetivos

Las tecnologías 3D están cada vez más presentes en todos los ámbitos de la vida cotidiana de los seres humanos, incluido el artístico, de modo que, en los últimos años, estas nuevas herramientas han dado lugar a un amplio espectro de opciones para la documentación, conservación y restauración de bienes culturales.

Escáneres 3D y programas informáticos capturan el volumen de las piezas, posibilitando su divulgación y estudio virtual en todo el orbe y registrando el estado de conservación de las mismas, mostrando sus deterioros, sin tener que tocar o visualizar *in situ* los originales. Por su parte, las impresoras 3D permiten reconstruir partes faltantes, ensayar tratamientos de intervención antes de aplicarlos en el original, monitorizar el estado de conservación de las obras y realizar facsímiles, entre otros usos.

MARÍA ÁVILA-RODRÍGUEZ
Profesora en la Universidad Internacional de La Rioja en la Facultad de Educación y en el Grado de Historia del Arte. Doctora por la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid (2018) con la tesis: Aplicación de la tecnología 3D a las técnicas de documentación, conservación y restauración de Bienes Culturales. Participa en diferentes proyectos de innovación y mejora de la calidad docente y en proyectos del CSIC. Coautora de diversas publicaciones relacionadas con la utilización de las tecnologías 3D en el ámbito de la conservación de bienes culturales. maria.avila@unir.net
ORCID. 0000-0001-6822-2660.

SONIA SANTOS-GÓMEZ
Profesora Titular del Grado en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural y del Máster en Conservación del Patrimonio Cultural de la Facultad de Bellas Artes de la UCM. Ha participado con numerosos trabajos en congresos nacionales e internacionales, con ponencias y pósters y en numerosos proyectos competitivos de investigación y de mejora de la calidad docente. Entre sus trabajos escritos, pueden destacarse libros, artículos y numerosos capítulos de libros. Como, por ejemplo, *La conservación del arte contemporáneo: Criterios y metodologías de actuación en obras configuradas con nuevos materiales*. (2017) Oviedo: Trea., o artículos como "El empleo de las tecnologías 3D en la conservación del patrimonio y su aplicación en la realización de reproducciones de bienes culturales", *Observar*, Universidad de Barcelona 2017, 11 (1), pp.97-114, "Aplicación de la tecnología 3D en la restauración del conjunto escultórico Los Portadores de la Antorcha, de la Ciudad Universitaria de Madrid", *Arte, Individuo y Sociedad*, número 30, 2018, pp. 61-75, etc. Actualmente, dirige el proyecto: Materiales poliméricos para impresión 3D en la creación artística y la conservación del patrimonio. Propiedades físico-químicas y comportamiento a largo plazo (P+3DP+ACP), del Ministerio de Ciencia e Innovación. soniasantos@ucm.es
ORCID. 0000-0003-3679-5100

Esta última utilidad, la de producir copias fieles, puede resultar especialmente interesante en el ámbito de la conservación de bienes culturales, ya que permite reconstruir partes faltantes en un original o conservar éste en condiciones medioambientales adecuadas cuando no puede ser expuesto al público debido a su fragilidad. Existen numerosos ejemplos de actuaciones llevadas a cabo en este sentido, aunque quizás los casos más conocidos son aquellos desarrollados por la empresa Factum Arte mediante el escaneado en alta resolución y producción de facsímiles de un gran número de obras, entre las que se encuentran las tumbas del Valle de los Reyes de Luxor (Factum Foundation, s.f.). Pero los ejemplos son múltiples y abarcan diversos tipos de bienes culturales, desde piezas arqueológicas, hasta objetos considerados con carácter decorativo. Algunos de los trabajos que estudian estos ejemplos serán referenciados en el trabajo que aquí se presenta.

Durante los últimos años, estas tecnologías han ido popularizándose. Ello deriva, por un lado, de la bajada de los precios de los escáneres y, por otro, de la incorporación de la fotogrametría al registro 3D de las obras, que ha ido ganando adeptos no solo entre el profesional conservador-restaurador y las grandes empresas vinculadas a la conservación de bienes culturales, a pesar de que aún los escáneres ofrezcan una mayor precisión de registro. No obstante, en ciertas ocasiones y, para determinados objetivos, como el caso que se muestra en este artículo, no sería estrictamente necesario adquirir o alquilar equipos costosos y complejos de utilizar y pueden realizarse fotogrametrías con cámaras fotográficas digitales no especialmente sofisticadas (FELICÍSIMO et al., 2020). Estas alternativas que van surgiendo conllevan que la profesión del conservador-restaurador pueda beneficiarse de las utilidades de unas tecnologías 3D más asequibles que, hace unos años, estaban restringidas a empresas o instituciones con mayor poder adquisitivo (MARTINS et al, 2021; CASANAS, en prensa).

El trabajo que aquí se presenta ha tenido como objetivo fundamental la realización de un planteamiento adecuado de conservación-restauración de una yesería perteneciente a la Farmacia Hispanoárabe perteneciente al Museo de la Farmacia Hispana de la UCM.

La yesería está realizada en labor de lazo que configura estrellas de ocho puntas. Algunas de las estrellas presentaban importantes deterioros y faltas volumétricas y, para su reconstrucción, se pensó en la posibilidad del empleo de las tecnologías 3D, ya que el yeso es un material poroso: si se realizara de manera directa un molde tradicional a base de silicona, cualquier fallo en la protección de las superficies durante la realización del molde podría modificar aspectos como el brillo y color del original, ya que la silicona es un material graso. Por ello, se optó por el empleo de metodologías de trabajo que implican la utilización de las tecnologías 3D (tanto de registro como de impresión), así como procedimientos de moldeo tradicionales sobre las piezas impresas, de modo que el tratamiento de restauración planteado evita las modificaciones mencionadas.

Las estrellas de la Farmacia Hispanoárabe

El Museo de la Farmacia se organiza en cinco boticas históricas y tres instalaciones museográficas que recrean un laboratorio alquimista, una botica hispano-árabe y la botica del Hospital de San Juan Bautista.

De las farmacias antiguas expuestas, la Hispano-árabe es el objeto de estudio del trabajo que aquí se presenta. Constituye una reproducción de una farmacia toledana del s. XIV y fue realizada en los años cincuenta del s. XX para ser exhibida en el Tercer Congreso de Sanitarios Españoles. Trata de ser un reflejo de este tipo de establecimientos, un pequeño comercio abierto en el que se trabajaba a la vista del público, inspirado en miniaturas y grabados de la época.

Los muros de la farmacia Hispano-árabe están constituidos por finos paneles de madera de pino decorados por yeserías conformadas mediante estrellas de lacería de ocho puntas dobles que presentan dos tamaños claramente diferenciables. Como se aprecia en la figura 1, estos motivos decorativos se repiten a intervalos.

El estado de conservación del conjunto de estrellas era, en general, deficiente, puesto que tienen tendencia a separarse del muro y se rompen con cierta facilidad. Podía apreciarse que existían estrellas anteriormente intervenidas, con fragmentos adheridos y repintes poco ajustados, lo que apunta a la falta de adherencia que afectaba a las piezas desde hace ya algún tiempo. Parece no existir registro de esta intervención, tal y como indica Alejandra Gómez Martín, conservadora del Museo en conversación privada. Seguramente, los fragmentos fueron adheridos por personal de la Facultad, pero no por parte de profesionales restauradores.

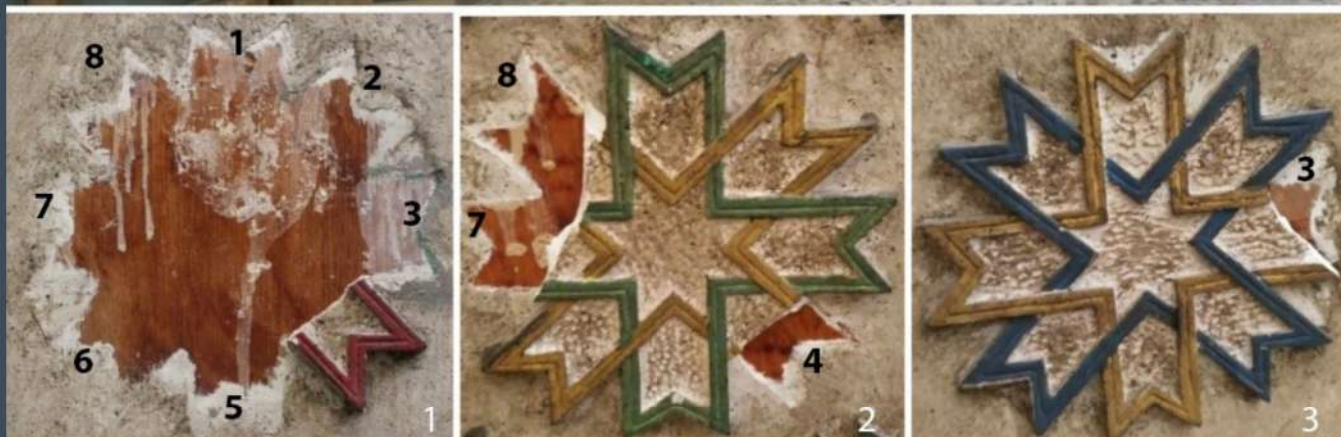


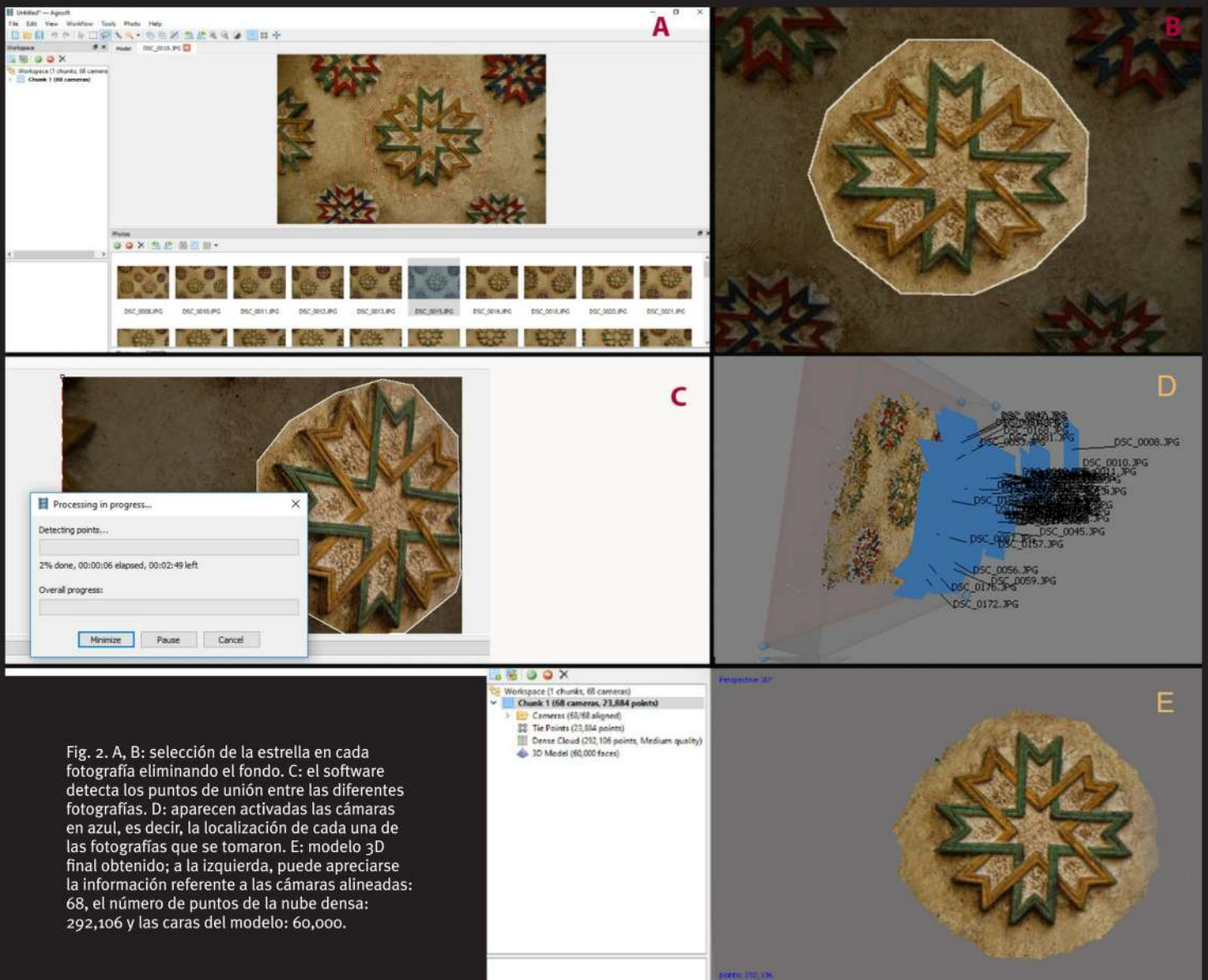
Fig. 1 Parte superior de la imagen: vista general de la yesería. Entre círculos de puntos de color rosa y con números en blanco aparece la localización de las 3 estrellas intervenidas. Cada una de ellas consta de 8 puntas dobles, que fueron numeradas para facilitar el estudio. La estrella nº1 había perdido toda su forma salvo su punta nº4, siendo la que peor estado de conservación presentaba. En el centro aparece la nº 2, que había perdido sus puntas 4, 7 y 8; por último, la nº 3 presentaba una pequeña pérdida en su punta 3.

Metodología de trabajo: procesos de intervención en tres estrellas

Como se ha indicado, se seleccionaron tres estrellas de la obra para desarrollar y poner a prueba sobre ellas la metodología planificada. Dado que el resultado ha sido satisfactorio, se prevé también su empleo en la restauración del resto de las estrellas. A continuación, se describen las diferentes fases del trabajo.

Creación de los modelos 3D con Agisoft Metashape®

En primer lugar, se pensó en generar el modelo 3D de dos estrellas, correspondientes a los dos tamaños existentes, que no presentasen ningún daño, de modo que sirvieran como patrón para reconstruir las piezas dañadas. De esta manera se dispondrá de los archivos 3D de ambas en el futuro, para utilizarlos en caso de que se necesitaran en la reintegración de posibles pérdidas, con lo que puede considerarse este procedimiento como una actuación de conservación preventiva.



Para realizar las digitalizaciones, se seleccionó el programa informático que permitiera trabajar mediante fotogrametría. Se trata de Agisoft Metashape®. Se eligió este programa por su eficacia y los buenos resultados que generalmente depara su empleo.

Este software, como otros empleados en fotogrametría, trabaja de acuerdo a las siguientes fases: la primera consiste descargar en un trabajo nuevo las fotografías tomadas. A continuación, se lleva a cabo la alineación de las mismas, proceso que crea una nube de puntos dispersa, que se compone de los puntos que han sido registrados. En la siguiente fase se obtiene la nube de puntos densa, que proporcionará un mayor número de referencias en la fase posterior de procesado y definirá la malla del objeto. Para ello, el programa se encarga de calcular la información de profundidad para cada imagen y después la combina en la única nube de puntos (ARCUSA et al, 2016, p. 536). La última etapa consiste en realizar el texturizado asociando las imágenes fotográficas con la malla creada en la fase anterior.

Las fotografías fueron tomadas en una sala iluminada con dos focos halógenos, con una cámara Nikon digital D40 y la ayuda de un trípode. Además de la cámara fotográfica, se utilizó una lente para realizar fotografías macro de la zona de rotura de la estrella 3: se trata del *3 in 1 smartphone linse mit led leuchte, Model NY-Jo1*. La lente es un ojo de pez profesional, ajustable y económico, que funciona con teléfonos móviles de última generación. Constituye un macro 0.65X + 10X, y cuenta con tres niveles de iluminación LED.

Para la obtención de imágenes con gran detalle y muy ampliadas solo fue preciso instalar la lente en un dispositivo móvil. En este caso, se empleó un Huawei Y6, con una resolución de 720 x 1280 píxeles y una densidad de éstos de 294 ppp. La lente resultó especialmente útil a la hora de tomar fotografías de las zonas de rotura.

Con esta metodología de trabajo y equipamiento se obtuvieron los siguientes modelos 3D, para poder trabajar en el proceso de restauración:

- Modelo estrella grande completa (fig. 4).
- Modelo estrella pequeña completa (fig. 2E).
- Modelo estrella nº1.
- Modelo estrella nº2.
- Modelo estrella nº3.

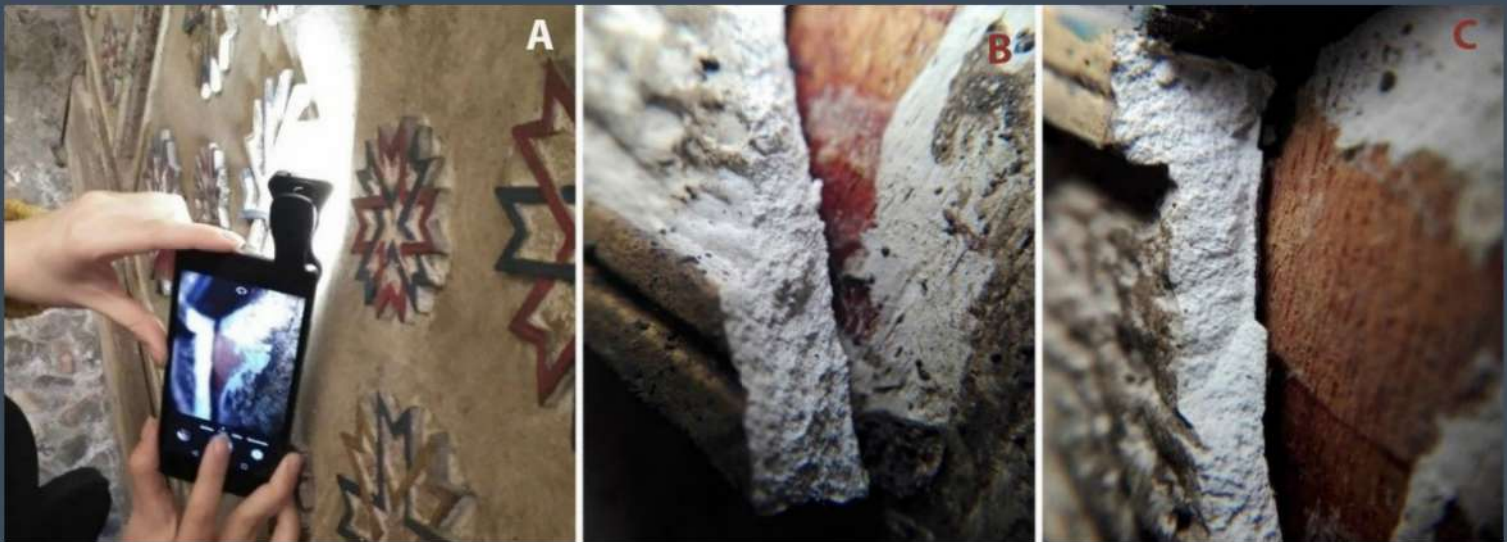


Fig. 3. A: lente instalada en el teléfono móvil empleado en la toma de las imágenes. B y C: Dos ejemplos de las fotografías obtenidas. ©Mireya Arenas Patiño.

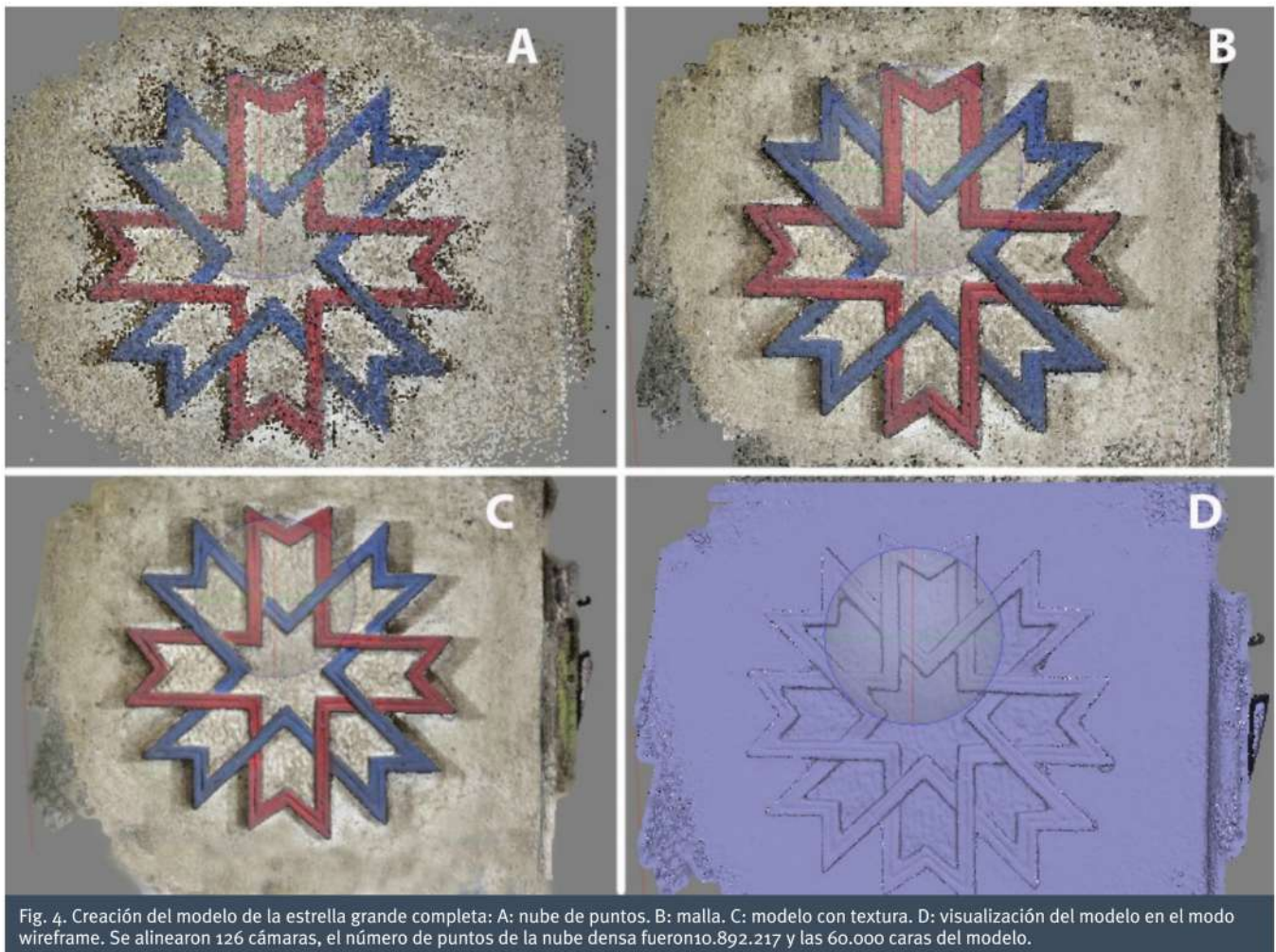


Fig. 4. Creación del modelo de la estrella grande completa: A: nube de puntos. B: malla. C: modelo con textura. D: visualización del modelo en el modo wireframe. Se alinearon 126 cámaras, el número de puntos de la nube densa fueron 10.892.217 y las 60.000 caras del modelo.

Como se ha indicado previamente, se numeraron las puntas de las estrellas, de 1 hasta 8, comenzando con el número 1 en la punta central superior y siguiendo la numeración el orden de las agujas del reloj (fig. 1).

Los pasos llevados a cabo para generar el modelo 3D fueron los mismos en todas las estrellas. Una vez obtenidos los modelos generados, se guardaron con la extensión .obj con el fin de importarlos posteriormente al programa Blender®, software libre en el que se ha llevado a cabo el proceso de edición que ha permitido realizar la restauración virtual de las estrellas. En este programa fue eliminado también el fondo de las estrellas digitalizadas.

Una vez finalizada la edición de las estrellas tras la eliminación del fondo, se guardan los archivos con dos extensiones, .blend y .obj, a fin de que en el futuro puedan ser utilizados si fuera necesario.

Restauración virtual de las piezas

La siguiente fase del trabajo desarrollado consistió en llevar a cabo la reintegración volumétrica virtual de las piezas. Se utilizó el modelo 3D de la estrella completa para completar las pérdidas del resto de los modelos 3D de las estrellas n^o1, n^o2 y n^o3.

Este modelo fue escalado conforme a sus medidas reales, 13,30 cm. La estrella n^o1 era la que peor estado de conservación presentaba, puesto que únicamente conservaba una de sus puntas, como se ha indicado

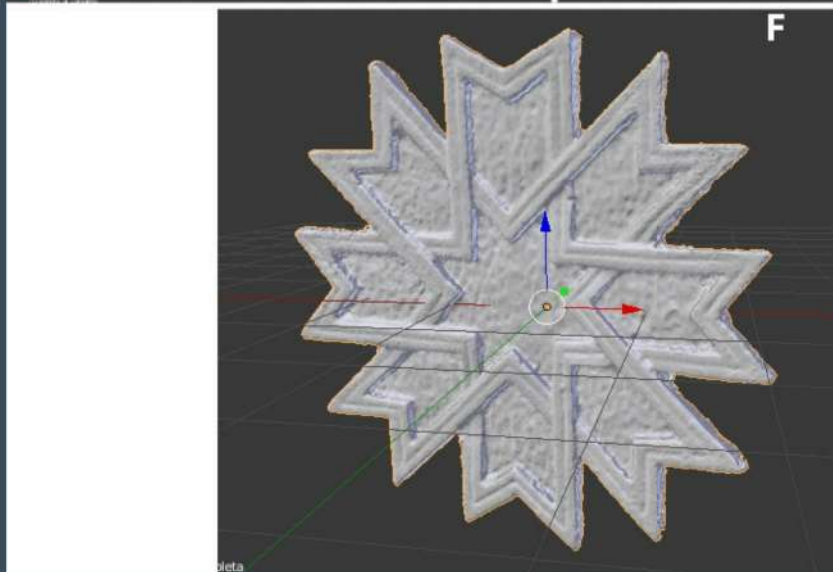
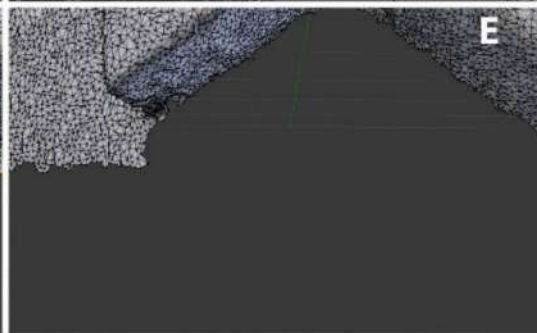
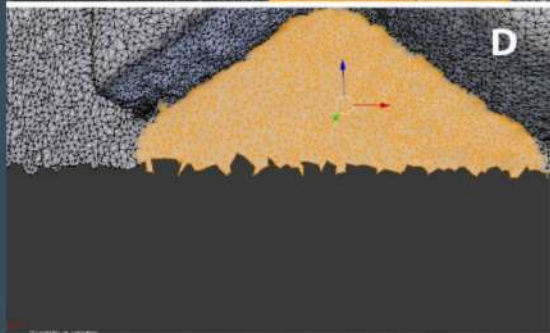
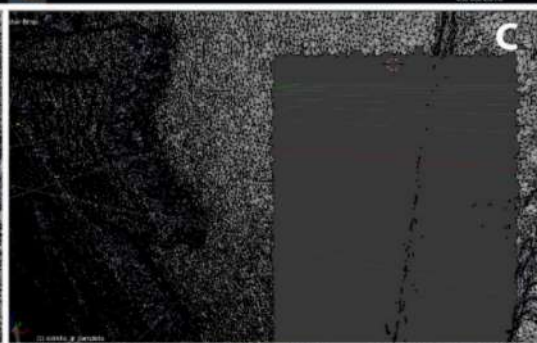
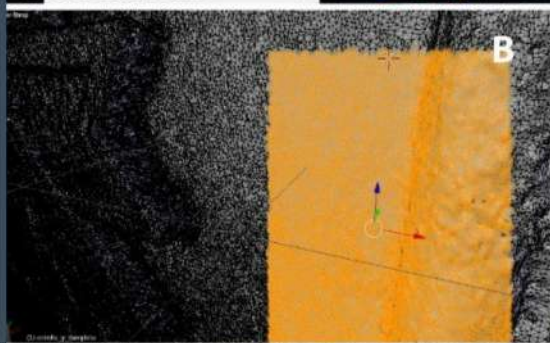
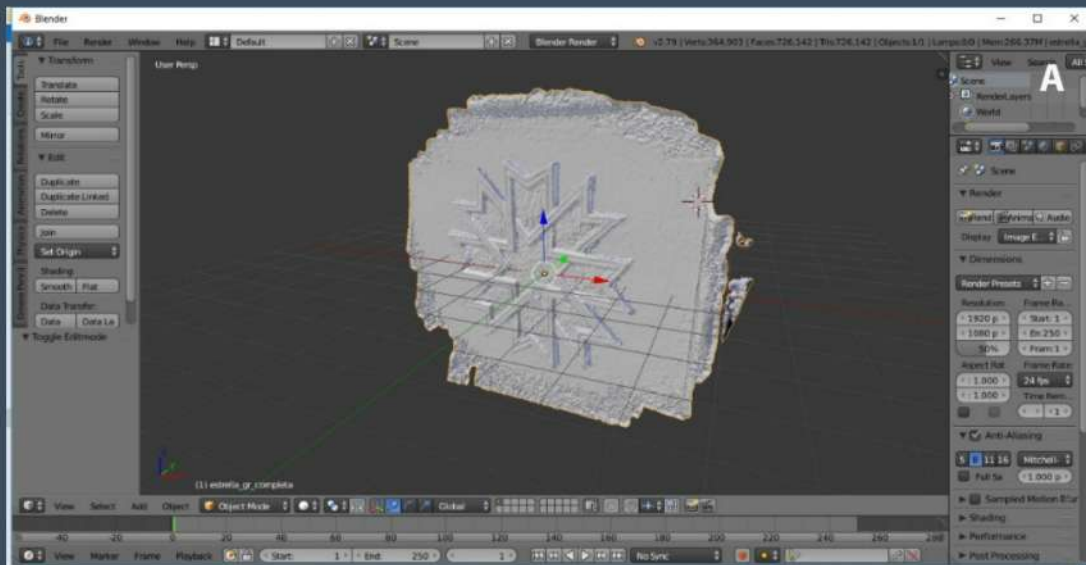


Fig. 5: A: modelo de la estrella completa abierto en Blender®, listo para comenzar su edición. B, C, D, E: zonas seleccionadas para ser eliminadas del modelo. Toda aquella geometría correspondiente al fondo fue retirada. F: modelo ya limpio.

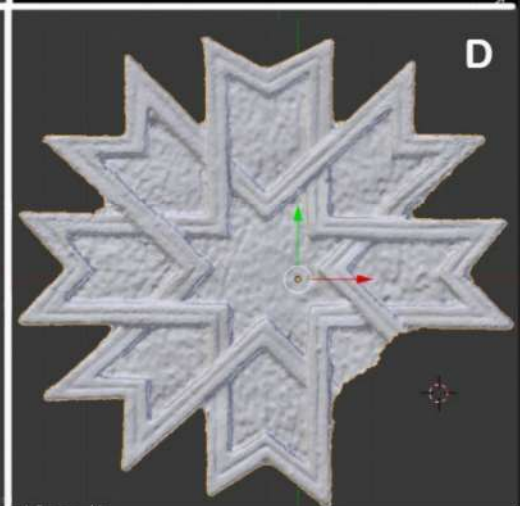
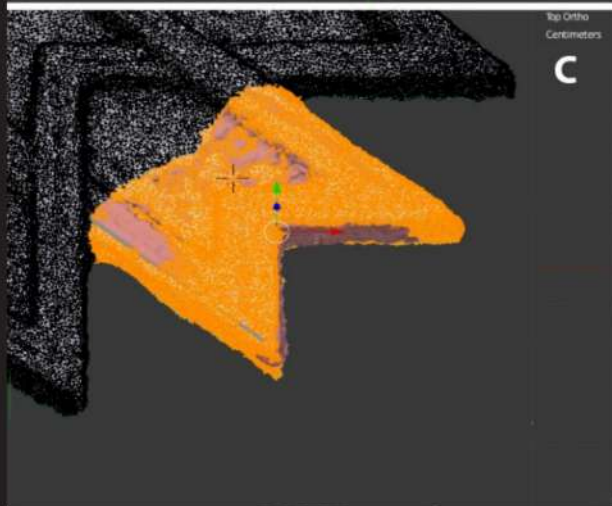
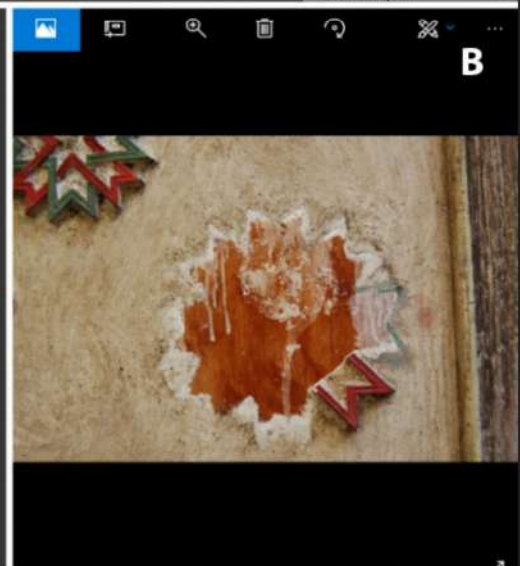
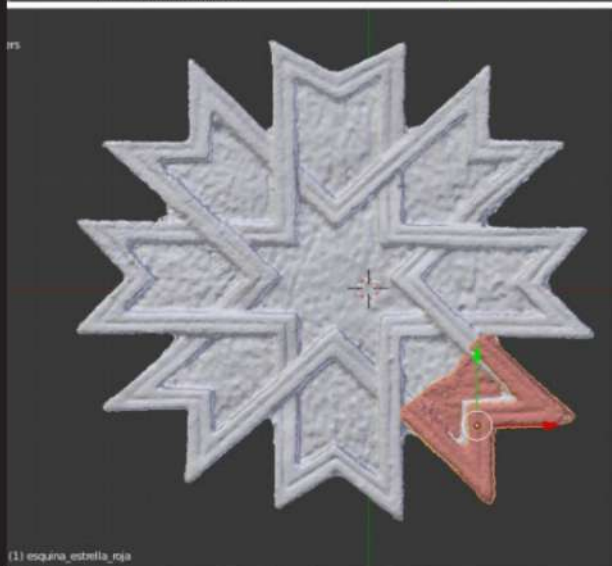
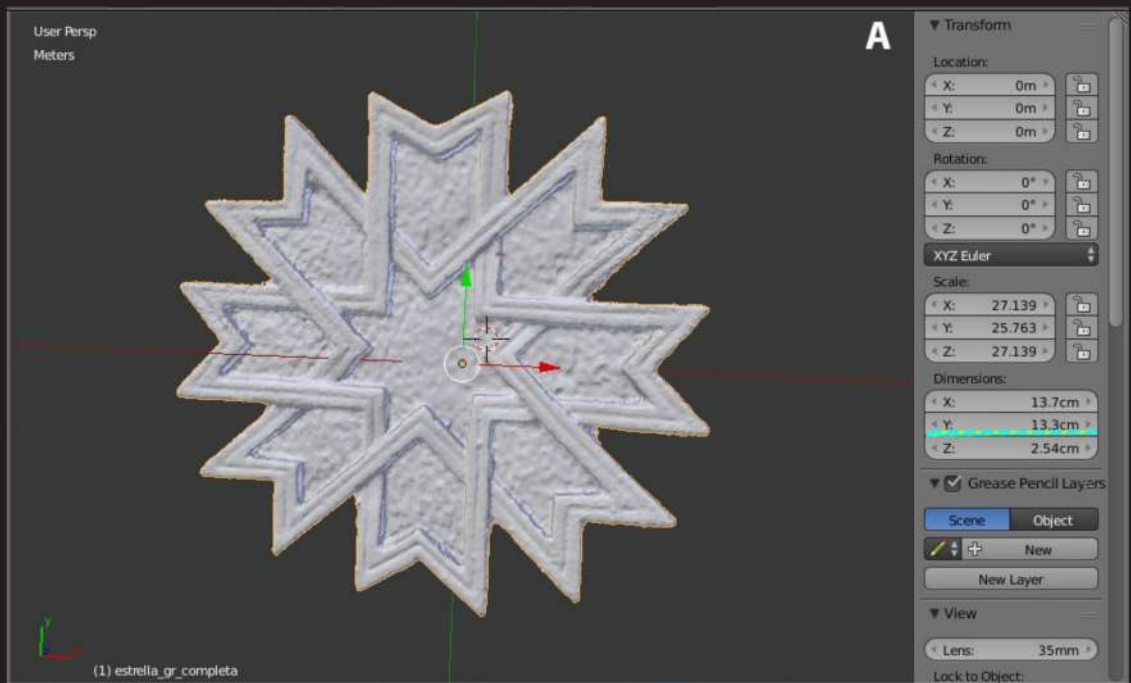


Fig. 6. A: estrella grande completa. B: en tono rosa, el modelo de la estrella n^o1 y, en blanco, el de la estrella completa. A la derecha, se aprecia una fotografía a color de la estrella que va a ser reconstruida. C: la zona naranja corresponde a los triángulos seleccionados que conforman la punta de la estrella que habría de ser eliminada. D: los triángulos han sido ya eliminados.

Para restaurarla virtualmente, se abrió su modelo 3D en Blender®, y se importó también el archivo .obj del modelo de la estrella grande completa. Con el fin de diferenciar ambos modelos para facilitar las operaciones, se aportó color rosa al modelo de la estrella nº1.

El modelo de la estrella nº1 (rosa) fue escalado al tamaño de la estrella completa (blanca), hasta que encajó perfectamente en la posición donde debía ir situado.

Con el modelo de la estrella nº1 encajado perfectamente sobre la estrella blanca, se procedió a eliminar la superficie que ocupaba el modelo de la estrella nº1 (en rosa), para obtener así todo el volumen faltante.

Para restaurar virtualmente la estrella nº2, se procedió como en el caso anterior.

Para restaurar virtualmente la estrella nº3, se abrió en Blender® su modelo 3D, ya editado. Sin embargo, en este caso se decidió utilizar la propia estrella para reintegrar la falta existente. Antes de realizar cualquier operación, se escaló la estrella al tamaño necesario, tal como se hizo anteriormente con la estrella completa, hasta conseguir que su eje "y" midiese 13,30 cm, de modo que modelo real y objeto real tuviesen las mismas medidas.

A continuación, la estrella fue duplicada y se aportó a una de ellas una coloración rojiza para diferenciarlas. Después, fueron situadas superpuestas, para posteriormente rotar una de ellas y conseguir que una de las puntas ocupase el hueco vacío de la punta de la otra estrella. Entonces, se eliminó el resto de la geometría no necesaria.



Fig.7 A: modelos de la estrella completa (blanco) y estrella nº2 (rosa) superpuestos. B: estrella 3 duplicada y rotada para reintegrar la estrella nº 3 original. C, D, E: fotografías de las estrellas originales (estrellas 1, 2 y 3 respectivamente) reintegradas virtualmente (en blanco).

Materialización de la restauración virtual: impresión de las piezas

Una vez los archivos de las puntas de las estrellas estuvieron listos para su impresión, fueron llevados al Laboratorio de Morfología Virtual del CSIC, para proceder a su impresión.

A continuación, se detalla la información referente a cada una de las piezas que se imprimieron:

- Estrella 1 – Vértices: 113,685; Bordes: 338,003; Caras y triángulos: 224,317.
- Estrella 2 (Punta 8) – Vértices: 11,619; Bordes: 34,247; Caras y triángulos: 22,632.
- Estrella 2 (Puntas 3 y 4) – Vértices: 27,851; Bordes: 82,427; Caras y triángulos: 54,570.
- Estrella 3 – Vértices: 14,499; Bordes 42,885; Caras y triángulos: 28,388.

Dos fueron las impresoras empleadas: MakerBot® Replicator 2 y Ultimaker 3 Extended. El hecho de que se utilizaran ambas respondió sencillamente a la disponibilidad de cada una de ellas en el momento de imprimir las piezas, ya que ambas tecnologías estaban constantemente en funcionamiento y fueron aprovechadas para poder avanzar en este proyecto sin dejar de hacerlo en aquellos propios del laboratorio.

La impresora MakerBot Replicator® 2 puede imprimir, por ejemplo, con PLA (ácido poliláctico) con tecnología FDM (modelado por deposición fundida). Cuenta con un cabezal extrusor y con una precisión de posicionamiento de X e Y de 11 μm y de posicionamiento de Z de 2,5 μm (MakerBot Replicator, s.f.). La resolución de cada capa es de 100 μm , ya que se empleó la boquilla de 0,4 mm.

Por lo que a la impresora Ultimaker 3 Extended respecta, debe decirse presenta doble extrusor, también de tecnología FDM, que permite fabricar objetos con materiales como Nylon, PLA, ABS o CPE y soportes con material a base de PVA (alcohol polivinílico), soluble en agua. Cuenta con un cabezal extrusor doble con una precisión de posicionamiento de X e Y de 12,5 μm y de posicionamiento de Z de 2,5 μm . La resolución de cada capa es de 20 μm , ya que se empleó la boquilla de 0,4 mm.

De este modo, la primera pieza en ser impresa, por su menor tamaño, fue la correspondiente a la estrella nº 3, materializada con la impresora MakerBot Replicator 2, mientras que el resto de las piezas fueron

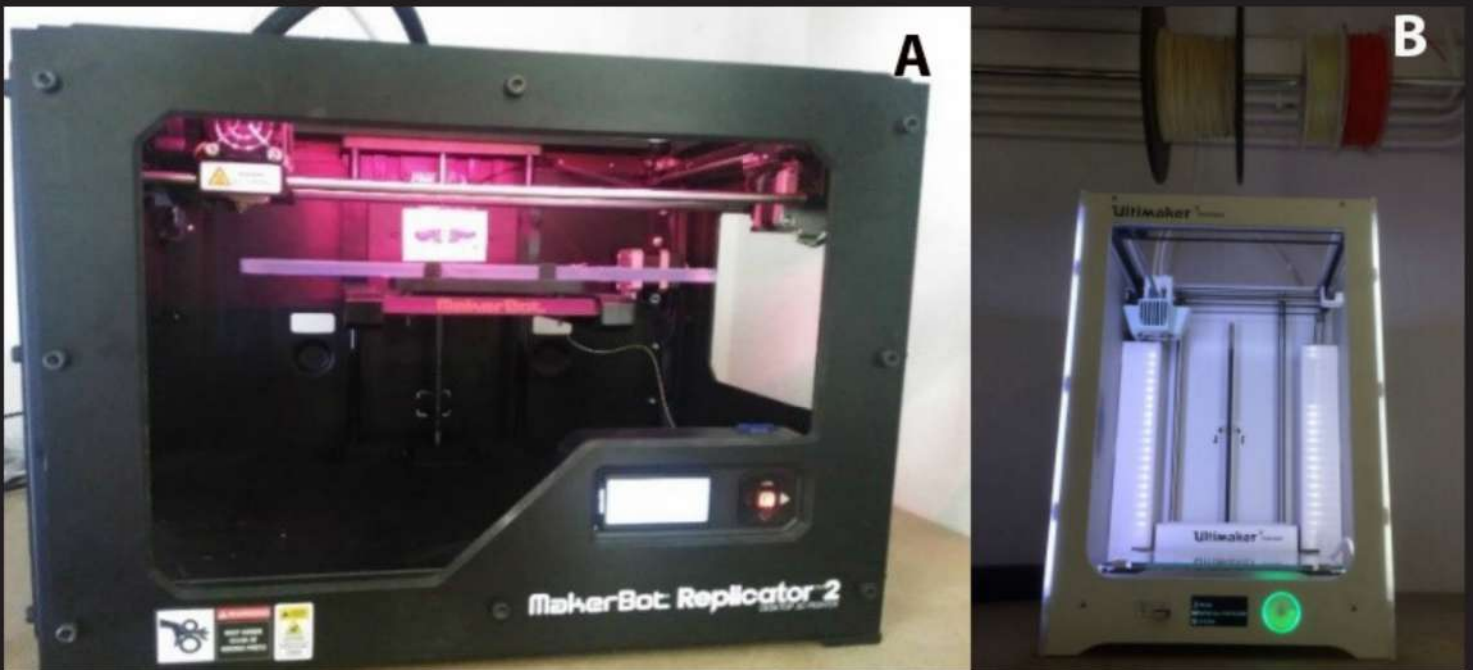
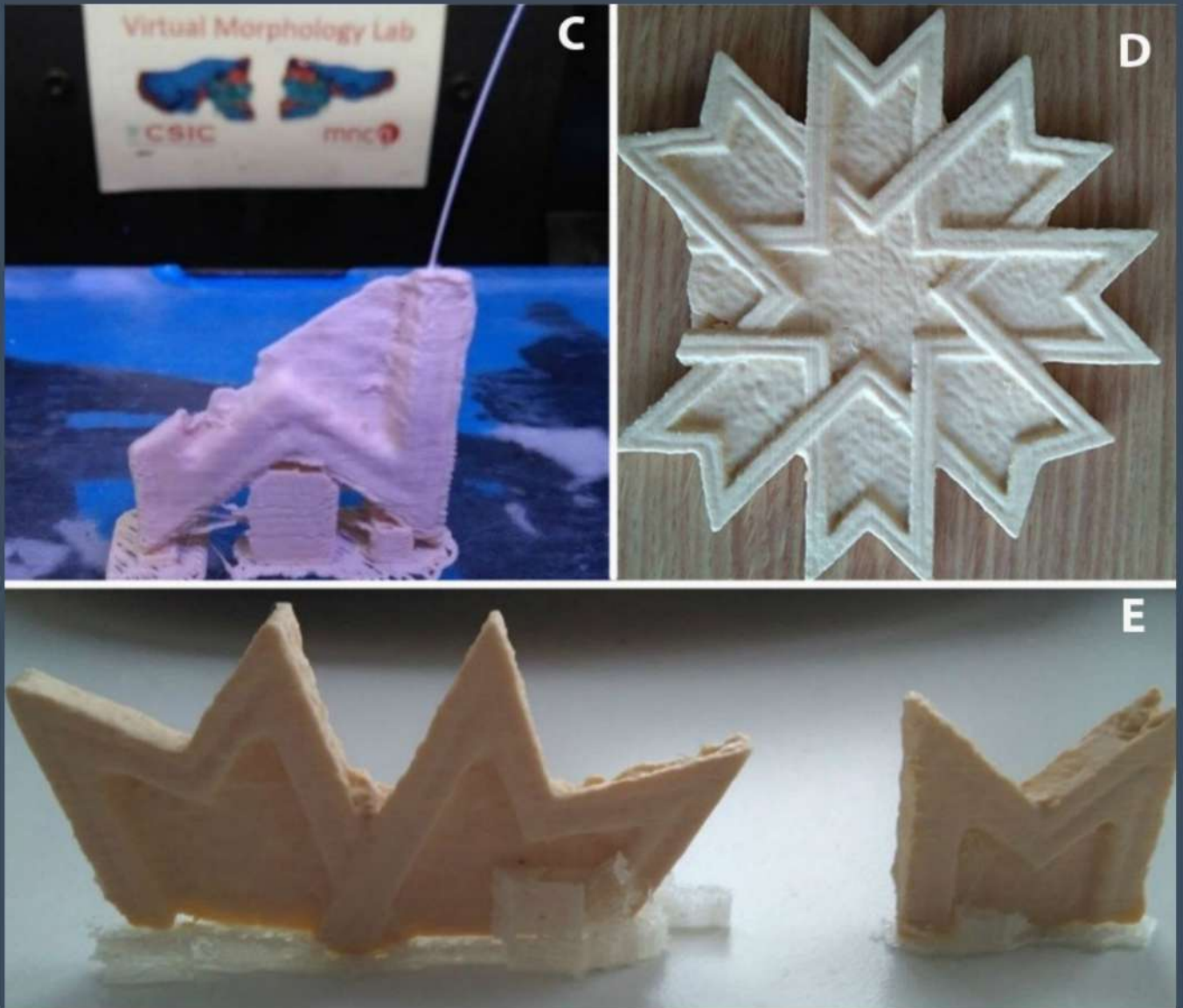


Fig. 8. Impresoras del CSIC: A: impresora MakerBot Replicator. B: impresora Ultimaker Extender 3.

impresas con la Ultimaker 3 Extended. Ambos equipos fueron empleados con PLA, debido a la disponibilidad de este material.

Las impresiones pudieron haberse realizado apoyadas directamente sobre los cristales de las impresoras, ya que la morfología más o menos plana de las piezas apuntaba hacia esta metodología de trabajo y de esta manera se evitaba la generación de soportes. En este caso, sin embargo, se generaron piezas con soportes para testar la dificultad que podría constituir su eliminación. No obstante, para piezas impresas en el futuro se prescribe la impresión sobre los cristales. A continuación, por tanto, se procedió a eliminar los soportes de impresión, parte de ellos con bisturí y el resto, los realizados con PVA hidrosoluble, sumergiendo las piezas en agua durante tres horas.

Se acudió entonces al Museo de Farmacia para comprobar que las piezas impresas encajaban perfectamente con los originales.



C: punta de la estrella nº 3 impresa por completo, aún en la impresora. D: Reintegración impresa de la estrella 1 y con los soportes ya eliminados tras sumergir la pieza en agua. E: puntas correspondientes a la estrella 2, impresas y aún con los soportes. © Francisco Javier Fernández Pérez. © Mireya Arenas Patiño.

Moldeo y vaciado de las reintegraciones volumétricas

Debe indicarse que existen diversas soluciones que podían haberse puesto en práctica para la reconstrucción de las piezas.

Por una parte, se podría plantear, como opción válida, la posibilidad de emplear materiales similares al original, realizando impresiones con polvo de yeso y uniéndolas al original habiendo aplicado previamente una capa de intervención (por ejemplo, derivado celulósico o dispersión acrílica). No obstante, se pensó en este caso en utilizar un material distinto del original, de modo que resultara completamente diferenciable de cara al futuro.

Así, se planteó la realización de las reconstrucciones con polímeros sintéticos. Debe decirse que en algunas intervenciones donde se han utilizado estas tecnologías 3D se han utilizado materiales de reintegración muy distintos de los originales. Por ejemplo, en un trabajo de Martins y otros investigadores se utilizó ABS en la reintegración de unas puertas de madera de una construcción de Brasil, de comienzos del siglo XX, de modo que las reintegraciones son perfectamente discernibles (MARTINS et al, 2021).

Existen impresoras que producirían la reproducción directamente a color. No obstante, este equipamiento más sofisticado no siempre es accesible, como en este caso y por otra parte, la reproducción de color es difícil se ajuste perfectamente a la al original. Además, las tintas de impresión y resinas utilizadas por estas impresoras no han sido aún investigadas suficientemente como para conocer su permanencia y mecanismos de degradación.



Fig. 9 A, B y C: realización del molde para la estrella 1. D: separación de la pieza impresa del molde de silicona. F: moldes realizados y positivos en resina.

En el caso aquí expuesto, se descartó la utilización directa de las impresiones realizadas con PLA (ácido poliláctico) para las reconstrucciones, ya que se trata de un material incluso biodegradable a temperaturas no muy elevadas¹, por lo que se decide llevar a cabo un proceso de moldeo tradicional sobre las piezas impresas y su posterior vaciado con la resina elegida. Se trata de la resina epoxídica Epoper EX402 con su endurecedor E-430, que presenta filtro UV para favorecer la estabilidad de la reproducción. En la actualidad se están llevando a cabo nuevos estudios sobre la composición y mecanismos de degradación de los materiales empleados en la impresión 3D; no obstante, también sería deseable un estudio enfocado sobre los materiales utilizados en la realización de vaciados (SAN ANDRÉS, M., y otros, 2019)².

En la realización de los moldes se empleó una silicona RTV bicomponente de condensación, Silastic 3481 de Ferroca S.A., con un agente de curado derivado del estaño (SANTOS et. al, 2018).

Para configurar los positivos de resina se empleó una resina epoxídica mezclada con los pigmentos pigmento blanco de titanio, negro de carbón y sombra tostada, de la casa comercial CTS, a fin de que el color de los vaciados obtenidos se asemejase al del material original, el yeso.

Reintegración volumétrica y cromática de los originales y resultados obtenidos

Para reintegrar cromáticamente las reintegraciones volumétricas se emplearon colores Gamblin[®], considerados estables en el ámbito de la conservación-restauración de bienes culturales. Se ha estimado que las reintegraciones podían ser invisibles, debido a que el soporte se compone de un material (resina) distinto del original (yeso) y, por tanto, la identificación de uno y otro es posible y sencilla.

A continuación, las piezas fueron adheridas en su lugar correspondiente mediante el empleo de Paraloid B-72 disuelto en acetona en una concentración del 70%. La mínima línea de separación entre volumen original y reconstrucción fue cubierta con Gesso Primer de la marca Talens y se reintegraron cromáticamente las zonas.

Dada la calidad del modelo obtenido con las fotografías tomadas con la lente que se instaló en el dispositivo móvil, se pretendía comprobar si las piezas podían encajar milimétricamente. Se constató que los resultados obtenidos a partir de este sencillo dispositivo fueron realmente satisfactorios.

Por otra parte, hay que indicar que, durante todo el proceso que conllevó la realización de estas reintegraciones volumétricas y cromáticas, tanto en la toma de los datos como en la reintegración física de las piezas la yesería prácticamente no fue manipulada, con lo que se salvaguardó el original al máximo.

¹ Algunos estudios hacen referencia a la utilización de estabilizantes para la radiación UV con este material de impresión. No obstante, debido a la naturaleza frágil de este material se decide no utilizarlo como material final de reintegración (Cimino et al, 2018).

² El University College de Londres (Coon et al, 2016) llevó a cabo una investigación titulada *Preserving Rapid Prototypes: A Review* que fue publicada a finales del 2016 en la revista *Heritage Science* y concluyó que existen importantes lagunas en la caracterización de materiales de prototipado rápido y la investigación de conservación.



Fig. 10 Resultado de las reintegraciones volumétricas: A: estrella 1; B: estrella 2 y C: estrella 3.

Conclusiones

La realización del planteamiento de conservación-restauración para la yestería perteneciente a la Farmacia Hispanoárabe del Museo de la Farmacia Hispana ha implicado el registro 3D de la pieza ha resultado satisfactorio, de modo que se evitado la realización de un proceso de moldeo directo con los riesgos que podría entrañar este trabajo en cuanto a la alteración de brillo y color de una pieza porosa realizada en yeso policromado.

La metodología de trabajo ha implicado el empleo de procesos e instrumental no especialmente costoso, como el empleo de una cámara fotográfica y un móvil en la realización de la fotogrametría de la pieza (con su lente auxiliar) y de software libre y de prueba en el tratamiento de la imagen. Por tanto, la metodología de trabajo aquí expuesta podría servir como pauta de actuación para otros profesionales del ámbito de la conservación de bienes culturales, que pueden beneficiarse de las ventajas de utilizar tecnologías que hace unos años estaban restringidas a empresas o instituciones con mayor poder adquisitivo.

En la reconstrucción volumétrica del resto de estrellas que aún no habían sido restauradas podría aplicarse la metodología descrita. Del mismo modo, esta metodología de trabajo podría ser empleada en obras de características similares.

Los archivos de las dos estrellas completas digitalizadas constituyen una herramienta que pudiera ser empleada cuando sea preciso para reconstruir el resto de las pérdidas volumétricas, en la actualidad y de cara al futuro.

Para finalizar, se considera necesaria la realización de investigaciones sobre las propiedades y estabilidad de los materiales de impresión 3D, para comprobar cuáles podrían utilizarse como materiales definitivos para llevar a cabo reintegraciones volumétricas. ■

Referencias bibliográficas

- ARCUSA, H., ROJO, M., ROYO, J. I., TEJEDOR, C., GARCÍA MARTÍNEZ, I. y GARRIDO, R. (2016). "La fotogrametría como alternativa al registro de materiales arqueológicos: su aplicación en la cueva de Els Trocs y Valmayor XI". En LORENZO, J. I. Y RODANÉS, J. M. (eds.), *I Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés (CAPA)*, pp. 533-539. Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304581921_La_fotogrametría_como_alternativa_al_registro_de_materiales_arqueologicos_su_aplicacion_en_la_cueva_de_Els_Trocs_y_Valmayor_XI [Consulta: 14/4/2021]
- CASAÑAS, R. A. (en prensa) "Relevamientos fotogramétricos en colecciones arqueológicas y etnográficas del Instituto de Arqueología y Museo, Tucumán, Argentina", *Conservar Patrimonio*, en prensa. Disponible en: <https://conservarpatrimonio.pt/article/view/23944/17715> [Consulta: 15/4/2021]
- CIMINO, D., ROLLO, G., ZANETTI, M., BRACCO, P. (2018) "3d printing technologies: are their materials safe for conservation treatments?". En *The Future of Heritage Science and Technologies 16-18 May 2018*, Florence, Italy, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, V. 364.
- COON, C., PRETZEL, B., LOMAX, T., et al. (2016) "Preserving rapid prototypes: a review", *Heritage Science* 4, 40. <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0097-y>
- FACTUM FOUNDATION, s.f. Disponible en: <https://www.factumfoundation.org/ind/638/theban-necropolis-preservation-initiative> [Consulta: 14/4/2021]
- FELICÍSIMO, A. M., DURÁN-DOMÍNGUEZ, G., TORTOSA, T., MORÁN, J. C., DE SOTO, M.R., POLO, M. E. y RODERO, A. "Representación tridimensional de objetos arqueológicos: una propuesta de arqueología virtual", *Heritage & Museography*, Vol. 21, pp. 185-205. doi: <https://doi.org/10.34810/hermusn21id378134>
- MakerBot Replicator. (Sin fecha) *MakerBot, Replicator 2 Desktop 3D Printer. Manual de usuario*. Disponible en: <https://images.makerbot.com/support/production/mt101.pdf> [Consulta: 14/4/2021]
- MARTINS RIBEIRO, C. J., CONSELHO MAURÍCIO, N. B., DUARTE PENNA, T., & TAVEIRA DE SOUZA, V. (2021) "The use of 3D printing in centenary doors of the Espaço Comum Luiz Estrela: contemporary interventions in integrated goods", *Conservar Património*, 38, 71-80. Disponible en: <https://conservarpatrimonio.pt/article/view/25081/18481> [Consulta: 14/4/2021] <https://doi.org/10.14568/cp2020056>
- SANTOS, S., ZURDO, L., ÁVILA, M., DE ARRIBA, P., RODRÍGUEZ, P., GALÁN, M., TENA, S., TERRÓN, P., BLANCH, E., GIL, R. (2018) Aplicación de la tecnología 3D en la restauración del conjunto escultórico Los Portadores de la Antorcha, de la Ciudad Universitaria de Madrid. *Arte, Individuo y Sociedad*. V. 30, 61-75.
- UCM. (Sin fecha a) *Museo de la Farmacia Hispana*. Disponible en: <https://www.ucm.es/museofarmaciahispana> [Consulta: 14/4/2021]
- UCM. (Sin fecha b). *Museos y Colecciones Complutenses*. Disponible en: <https://www.ucm.es/cultura/colecciones> [Consulta: 14/4/2021]
- Ultimaker Support. (Sin fecha). *Ultimaker 3 PDF manuals*. Disponible en: https://support.ultimaker.com/hc/en-us/article_attachments/360010854839/Ultimaker_3manual_Es_.pdf [Consulta: 14/4/2021]
- SAN ANDRÉS, M., CHÉRCOLEAS, R., NAVARRO, E., DE LA ROJA, J.M., GOROSTIZA, J., BLANCH, E. (2019) "Use of PLA and ABS in 3D printing for Fine Art. Analysis of filament and print composition and long-term behavior", Poster in *The Plastics Heritage Congress 2019. History, Limits and Possibilities, Book of Abstracts* (p. 72). Lisboa, 29 al 31 de mayo.

Agradecimientos

- *Materiales Poliméricos para impresión 3D en la creación artística y la conservación del patrimonio. Propiedades físico-químicas y comportamiento a largo plazo*. Ref.: PID2020-114393RB-100. Ministerio de Ciencia e Innovación.
- Mireya Arenas.
- Alejandra Gómez, Conservadora del Museo de la Farmacia Hispana.
- Francisco Javier Fernández Pérez, técnico del Laboratorio Virtual del CSIC.
- Markus Bastir, Investigador Científico del Departamento: Paleobiología del CSIC.
- Isabel García, Vicerrectora de Cultura, Deporte y Extensión Universitaria UCM.