

## El empleo de las tecnologías 3D en la conservación del patrimonio y su aplicación en la realización de reproducciones de bienes culturales

### The conservation of cultural heritage by 3D technologies and its use in making reproductions of works of art

Sonia Santos Gómez<sup>1</sup>

Universidad Complutense de Madrid

[soniasantos@ucm.es](mailto:soniasantos@ucm.es)

Fecha de recepción del artículo: 15 de julio de 2016

Fecha de aceptación: 27 de octubre de 2016

#### Resumen

El tema desarrollado en el presente estudio constituye el resultado de la puesta en práctica de un Proyecto de Innovación Educativa y Mejora de la Calidad Docente (proyectos PIMCD) dirigido por la autora, en el que colaboraron profesores de los departamentos de Escultura, y Pintura y Restauración. Este proyecto pretende exponer a la comunidad de conservadores-restauradores y alumnos en general una metodología a aplicar en la realización de reproducciones completamente inocuas para las obras originales mediante la combinación de las tecnologías 3D con los sistemas de moldeo tradicionales. Con la metodología expuesta se obtienen reproducciones sin que los materiales de moldeo hayan entrado en contacto con las obras y, por tanto, se evita el riesgo de que se produzca una alteración del brillo o color de estas últimas. Igualmente, los resultados obtenidos se consideran de utilidad en la realización de reintegraciones volumétricas.

**Palabras clave:** reproducción, conservación-restauración, escultura, tecnologías 3D.

#### Abstract

The theme developed in this study is the result of the implementation of a Project of Educational Innovation and Improvement of the Teaching Quality (project PIMCD) directed by the author, in which participated professors from the Sculpture, and Painting and Conservation Departments. This project tries to expose to the community of curators and conservators and students in general a methodology applied in the realization of completely harmless reproductions for original works by meaning of combining 3D with traditional molding technologies. With the showed methodology, the reproductions have been obtained without molding materials (silicone) have come in contact with the original pieces and in this way can be avoided changes in brightness or color in them. Equally, the results obtained are considered useful in the realization of volumetric reconstructions of works of art.

**Keywords:** reproduction, conservation-restoration, sculpture, 3D technologies.

---

<sup>1</sup> Correspondencia: Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid, Calle Pintor El Greco, 2, 28040 Madrid, España.

En los últimos años, el empleo de las tecnologías 3D en el ámbito de la Conservación y Restauración de Bienes Culturales ha cobrado cada vez mayor auge. Por ello, mantenerse ajeno a estas realidades supondrá para los profesionales la obsolescencia de algunas de sus actividades desarrolladas en estos campos (Kosciuk, 2012).

El escáner e impresoras 3D y la fotogrametría tienen múltiples aplicaciones. Sirven, por ejemplo, para controlar el deterioro que se produce en escultura expuesta al aire libre si cada cierto tiempo se monitoriza o documenta la pieza con estas tecnologías. Igualmente, pueden realizarse copias virtuales o materiales de bienes culturales y, en este caso, se utilizan como una técnica de conservación preventiva. Así, realizar una copia permite una mejor conservación de las obras al exponerla al público y preservar el original en las condiciones medioambientales más adecuadas (Natural-History-Conservation.com, 2016; Williams y Williams, 2016). Asimismo, la realización de reproducciones tiene una función didáctica y de difusión muy importante (Escrivá y Madrid, 2010; Farjas y Arcia, 2008; Wachowiak y Kara, 2009). Por todo lo indicado, algunos museos cuentan ya con departamentos donde se utilizan las tecnologías 3D o están incorporándolas en la actualidad (por ejemplo, puede citarse el MNCN o el Museo de Historia Natural de Londres).

El empleo de estas tecnologías también permite realizar reconstrucciones volumétricas de partes faltantes o perdidas de esculturas (restauración de obras tridimensionales). Su utilización, en combinación con los sistemas de moldeo y positivado tradicionales, posibilita una actuación inocua para la obra original cuando se llevan a cabo estos procesos, ya que el material de moldeo no entra en contacto con la obra. Esta circunstancia es especialmente importante cuando la pieza a restaurar o a copiar es frágil o susceptible de alterarse en contacto con él.

### Objetivos y metodología

El objetivo general de este estudio ha consistido en exponer una metodología de trabajo para la reproducción de objetos patrimoniales tridimensionales, basada en la utilización de las herramientas 3D en combinación con los sistemas de moldeo y vaciado tradicionales (Pereira, 1999a; Pereira, 1999b)<sup>2</sup>. La metodología de trabajo descrita es, a grandes rasgos, comparable, aunque a mucha menor escala, a la utilizada por las principales empresas que se dedican, en la actualidad, a estas actividades, entre las que *Factum Arte* constituye un sobresaliente ejemplo (*Factum Arte*, 2016; Rosende y Andrés, 2003).

La metodología seguida en el proceso ha implicado el planteamiento y desarrollo de distintas fases:

---

<sup>2</sup> En las referencias correspondientes a C. Pereira puede encontrarse información relativa a los sistemas de moldeo y vaciado tradicionales.

- Selección de piezas para ser reproducidas: *Trilobite* y *terra sigillata* (pertenecientes a colecciones particulares).
- Escaneado 3D de las piezas a reproducir.
- Impresión de la pieza con impresora 3D y resina acrílica.
- Repaso de la impresión en resina.
- A partir de los positivos en resina acrílica, realización de moldes.
- Realización del vaciado con su coloración final.
- Repaso del vaciado (volumen).
- Repaso del vaciado (color en línea de junta y realización de manchas y mejora del color a punta de pincel).

A continuación, se especifica el equipamiento y materiales utilizados para llevar a cabo todas las fases implicadas en la metodología desarrollada:

- Impresora *3D Projet 1200* de *3D Systems*, de alta precisión y detalle y acabado de calidad.
 

Volumen:	43x27x180mm
Resolución:	585dpi
Espesor de capa:	30micras
Post-Proceso:	Unidad de curado <i>UV</i>
Material:	<i>Visijet FTX Green</i>
Archivos:	<i>STL</i>
- Consumibles para la impresora: Resina acrílica fotopolimerizable. Se comercializa como *Visijet® FTX Green*. Solidifica en capas mediante luz ultravioleta.
- Silicona *SILASTIC 3481*. Se ha utilizado en el moldeo de las impresiones de resina fotopolimerizable.
- Escayola *E-35*. También se ha empleado en este proceso de moldeo.
- Pigmentos en polvo. Se utilizan con la finalidad de dar color al vaciado definitivo.
- Resina epoxídica y endurecedor. Empleada en la realización del vaciado definitivo.
- Colores *Gamblin*. Son pigmentos aglutinados con resina urea-aldehído que se utilizan en conservación-restauración. Se han empleado para retocar los vaciados definitivos, una vez han salido del molde.
- Disolventes: *Dowanol PM* (para disolver los colores *Gamblin*), *Isopropanol* (baños de las piezas de resina extraídas de la impresora).
- Otros materiales: Palillos de modelar (para trabajar la plastelina de moldeo), espátulas (para trabajar la plastelina de moldeo y mezclar la resina), bisturíes (a fin de retirar los apoyos de las impresiones de resina y también en la eliminación de la rebaba de resina en el vaciado), lijas (para retirar la resina de la línea de junta), pinceles (retoque de color del vaciado definitivo), pigmentos en polvo (pintura de los moldes para realizar el vaciado definitivo).

### Selección de piezas

Se eligieron piezas con coloración y texturas distintas entre sí, a fin de comprobar la eficacia de la metodología empleada, así como con un tamaño no excesivamente grande, de modo que pudieran ser reproducidas mediante la impresora 3D disponible



Figura 1. *Trilobite* (colección particular). Fuente: original de la autora.



Figura 2. *Terra sigillata* (colección particular). Fuente: original de la autora.

### Escaneado 3D de las piezas a reproducir

Cuando se pretende digitalizar un bien patrimonial, puede recurrirse a la utilización de diversos equipos y metodologías. Hoy en día, cada vez se emplea con mayor frecuencia la fotogrametría, ya que puede reducir costes considerablemente. Para realizar la fotogrametría de una pieza, se toma un número elevado de fotografías de la misma, de cierta calidad. El número de imágenes necesario dependerá de factores como la resolución que se desee para el modelo digitalizado y su tamaño. Habitualmente, se utilizan entre 70-120 imágenes. Éstas, habrán de ser tratadas con el programa informático adecuado, a fin de transformar las imágenes de dos dimensiones en una imagen 3D. En la *web* puede encontrarse *software* libre que permite el tratamiento de las imágenes mediante esta técnica, aunque es cierto que una digitalización lo más precisa posible puede requerir *software* más especializado. Actualmente, como se indicaba, es posible digitalizar un bien cultural con estas aplicaciones gratuitas y de sencilla instalación (para tabletas, móviles y ordenadores). Como ejemplo, puede citarse una de las más conocidas, *Autodesk 123D Catch*, que genera el modelo 3D a partir de las imágenes que sube el usuario.

Por otra parte, para construir el modelo virtual puede recurrirse al empleo de escáneres 3D. Hoy en día, debido a la rápida evolución de los sistemas de digitalización empleados, existen equipos cada vez más asequibles desde el punto de vista económico. Con respecto al trabajo desarrollado con el *Trilobite* y la *terra sigillata*, se utilizó el digitalizador láser modelo *Konica Minolta vivid 910/vi-910*, disponible para el equipo investigador. Una vez escaneadas las piezas, utilizando para ello el programa *Poligon Editing Tool*, se retocó la imagen 3D obtenida con el programa *Rapidform* (cosido de la pieza y eliminación de pequeños orificios).

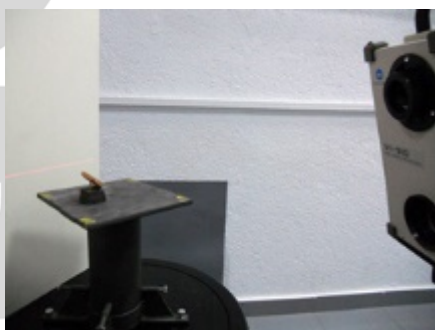


Figura 3. Escaneo de fragmento de *terra sigillata*. Fuente: original de la autora.



Figura 4. Retoque de la imagen mediante el programa *Rapidform*. Fuente: original de la autora.

### Impresión de la pieza en resina acrílica

Una vez se dispone del modelo 3D, podrían utilizarse múltiples sistemas para materializar el modelo tridimensional: técnicas de prototipado y manufactura, fresadoras e impresoras 3D.

Las fresadoras 3D generan el objeto a partir del empleo de una fresa, es decir, un dispositivo que desbasta y elimina el material que sobra de un bloque de material. Se trata, por lo tanto, de una técnica sustractiva. Algunos de los materiales más empleados son bloques de resina de poliuretano, escayola o fibras prensadas.

Las técnicas de prototipado y manufactura rápida son muy numerosas y son técnicas de fabricación aditiva. Se utilizan en el ámbito industrial y permiten obtener un modelo de una pieza diseñada a partir de una aplicación CAD. Pueden emplearse tipos diversos de procedimientos que dan lugar a la obtención de piezas a partir de material en polvo, sólido o líquido. Como ejemplo, puede citarse la estereolitografía (SLA), que emplea un láser UV que polimeriza las sucesivas capas de resina fotosensible en estado líquido; la deposición de hilo fundido, donde una boquilla deposita un hilo de material que solidifica sobre la capa anterior (*Fusion Deposition Modeling, FDM* o *Fused Filament Fabrication, FFF*); sinterización selectiva láser (SLS), que consiste en la deposición de una capa de polvo sobre una superficie que se ha calentado a una temperatura levemente inferior a la de la fusión del polvo y después un láser de CO<sub>2</sub> sinteriza el polvo en las zonas requeridas; o la fabricación por corte y laminado (*Laminated Object Manufacturing, LOM*), que consiste en el corte mediante láser y pegado de láminas de papel superpuestas, etc.

Además, cada vez es más frecuente el empleo de impresoras 3D, que configuran el objeto mediante la adición progresiva de material y que emplean las técnicas de prototipado y manufactura, como las *FFF*, *SLS* o la *SLA*. Además, han surgido otras nuevas, como la *Poly Jet photopolymer* que, como las impresoras de chorro de tinta, expulsan un fotopolímero que cura mediante radiación UV. Las impresoras 3D emplean diversos tipos de materiales (escayola, resinas acrílicas, ABS, PLA, etc.). En la actualidad, se encuentran en el comercio impresoras verdaderamente económicas que, sin embargo, presentan unas prestaciones muy limitadas en cuanto a la reproducibili-

lidad de la microtextura de las piezas. El espesor de las capas es tan grueso que el ojo humano permite apreciarlas con toda nitidez en forma de pequeñas estratificaciones. Esto da lugar a que las reproducciones obtenidas no sean especialmente fidedignas.

El comercio ofrece impresoras 3D que imprimen a todo color. Así, por ejemplo, *3D Systems* ha desarrollado un equipo que presenta cinco cartuchos de material, es decir, cian, amarillo, magenta, negro y blanco (*CMYKW*), a fin de lograr un modelo con una coloración lo más parecida posible a la deseada. Además, esta empresa también oferta materiales de impresión que generan piezas flexibles (3D Systems, 2016).

Estas impresoras, por lo tanto, ofrecen importantes prestaciones, en cuanto a resolución y color, pero presentan el inconveniente de su elevado precio (alrededor de 50.000-60.000 €). En este caso, se ha utilizado la impresora *3D ProJet 1200*, que tiene una resolución de 585dpi y un espesor de capa de 30µm. Utiliza una lámpara de *Wood* para el curado de la resina. La impresora funciona por deposición de capas de resina y la pieza termina de curar mediante una lámpara que emite radiación UV y que se encuentra en uno de los departamentos que presenta la impresora. Este equipo suele emplearse normalmente con piezas de pequeño tamaño (43 x 27 x 150mm), como componentes electrónicos o joyería.

Los consumibles están constituidos por la resina acrílica *Visijet® FTX Green*. Durante la impresión, la impresora construye unos soportes sobre una pletina que sustentarán la pieza impresa. Ésta presentará un color verde transparente. Después, la pieza obtenida ha de ser sometida a varios lavados mediante disolvente (alcohol isopropílico). Finalmente, pasará a la cámara de curado con radiación UV.



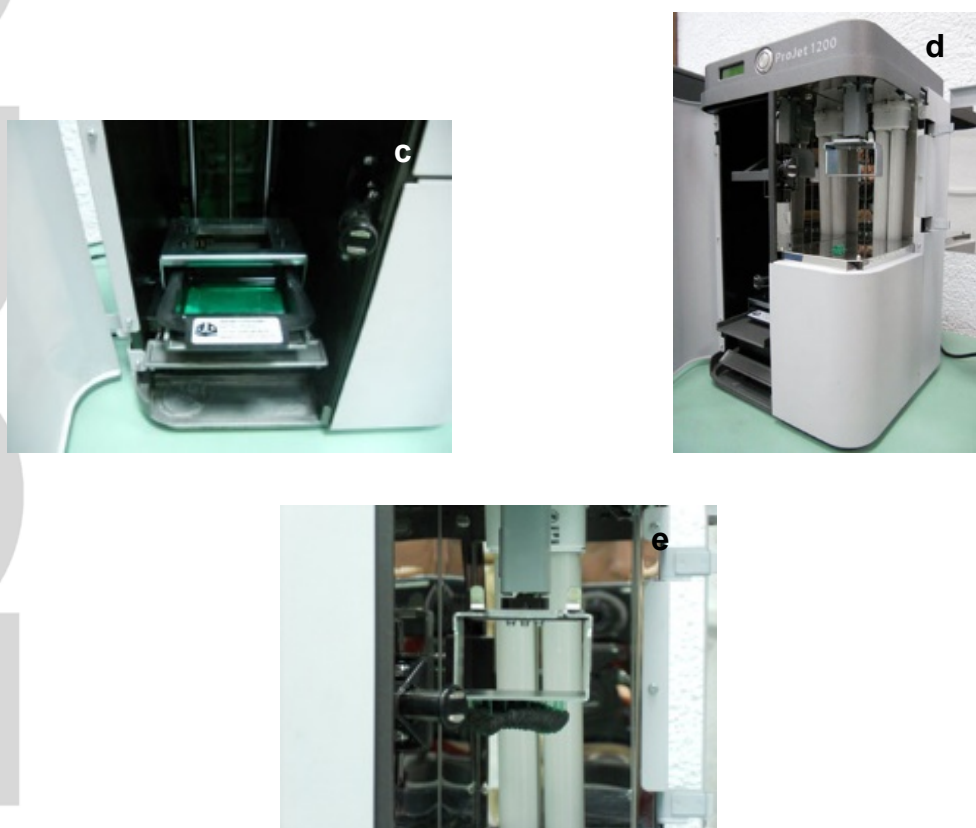


Figura 5. Impresora 3D. a) Proceso de impresión en el ordenador. Pieza con soportes. b) Impresora cerrada. c) Impresora abierta: cartucho de resina acrílica. d) y e) Impresora abierta: Tubos UV para el curado de la resina. Fuente: original de la autora.

### Repaso de la impresión

Durante la configuración de la impresión en resina, se generan unos soportes que la sujetan a la pletina sobre la que se imprime la pieza. Estos soportes han de ser eliminados de manera óptima y manual (a punta de bisturí) para que su huella sea apenas registrada por la silicona con la que posteriormente se realizará el molde.

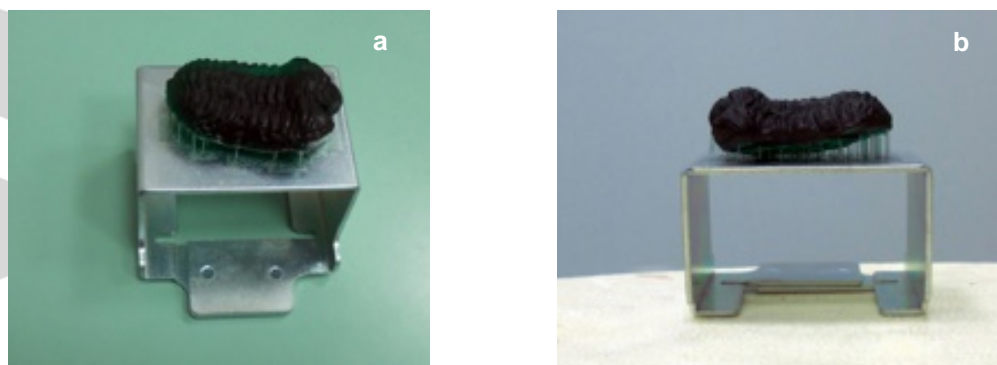


Figura 6. Pletina, una vez extraída de la impresora con la impresión en resina del *Trilobite*. Aún presenta soportes. a) Vista superior. b) Vista lateral. Fuente: original de la autora.

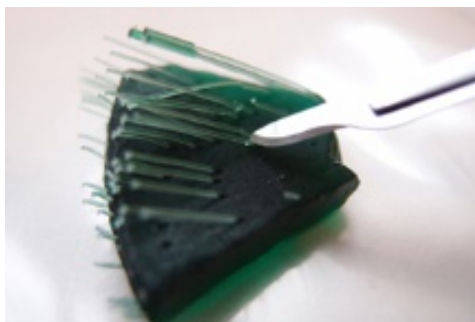


Figura 7. Retirada de los soportes de la *terra sigillata*. Fuente: original de la autora.

### Realización de moldes y vaciados a partir de las impresiones en resina acrílica

Una vez eliminados los soportes, se realiza el molde de la impresión, para después configurar el vaciado con la coloración definitiva. En el proceso de moldeo se empleó silicona bicomponente, de condensación, con una viscosidad de 25000 mPa.s., lo suficientemente baja como para que tenga una alta capacidad de registro de la textura de la pieza. Como agente de curado, se ha utilizado un derivado del estaño, con un tiempo de trabajo de 90 a 120 minutos y un curado de 24 horas. El tiempo de trabajo es el espacio de tiempo que se extiende desde la mezcla de la silicona con el agente de curado hasta el momento en que ya no puede ser manipulada porque adquiere una consistencia gomosa. El largo tiempo de trabajo de esta silicona ha contribuido a que tenga una alta capacidad de registro de la textura de la pieza. El tiempo de reticulación o curado es aquel que comprende desde la mezcla de la silicona con el catalizador hasta que el curado permite poner en uso el molde de silicona porque ha adquirido ya su consistencia flexible.

En mezcla con la silicona también se ha utilizado un agente tixotrópico, que incrementa su viscosidad. Esta silicona más viscosa sirve para engrosar el molde cuando se aplica en una segunda capa, tal y como se verá a continuación.

Primeramente, por tanto, se realizan los moldes de la *terra sigillata* y el *Trilobite*. En ambos casos son moldes de dos partes. Para ello, se ha utilizado plastelina, amasada hasta conseguir una lámina de unos 5 milímetros, con la que se ha realizado una base que pasa por el ecuador de la pieza y un encofrado para la silicona. Esta ha de pesarse con su agente de curado en las cantidades estipuladas por el fabricante (100: 5, silicona base: agente de curado) y se deja caer sobre la pieza y curar. Esta es la capa que registra la textura de la pieza. Después, se aplicará una nueva, esta vez además con agente tixotrópico, para engrosar la pared del molde.

Para preparar esta silicona con tixotrópico, se mezcla normalmente con su agente de curado y después se le añaden unas gotas de agente tixotrópico hasta que la silicona no descuelgue. Éste es un claro signo de que ya no necesita más cantidad de tixotrópico. Se aplica, por tanto, con espátula esta segunda vez, sobre la capa anterior y de modo que el molde tenga aproximadamente de 3 a 4 milímetros de grosor. Antes de que se acabe el tiempo de trabajo de la silicona han de



aplacarse las crestas que aparecen en la silicona derivadas de su aplicación con espátula. Para ello, un sistema sencillo consiste en mojar el dedo repetidas veces en agua y dar con él pequeños toques a la silicona, de modo que la superficie quedará rugosa, pero no tan irregular como antes. Así, la carcasa de escayola y el molde flexible tendrán un encaje adecuado.



Figura 8. Pista y encofrado de plastelina del *Trilobite*. Fuente: María Ávila Rodríguez.



Figura 9. Pista y encofrado de plastelina de la *terra sigillata*. Fuente: María Ávila Rodríguez.



Figura 10. Aplicación de la primera capa de silicona líquida mezclada con su agente de curado (sin agente tixotrópico). Esta es la capa de registro. Fuente: original de la autora.



Figura 11. Aplicación de la capa de silicona con agente tixotrópico sobre la anterior ya curada. Después, se aplacan las crestas de la silicona. Fuente: María Ávila Rodríguez.

Después de curada esta nueva capa de silicona, se elimina la barrera de plastelina de cada molde y se terminarán de perfilar, cortándolas con tijera, las colas de milano de silicona, a fin de que la escayola con la que se realizará el contramolde las registre de manera adecuada. En esta fase habrá de utilizarse escayola líquida.

Una vez realizado el contramolde de escayola, se da la vuelta a los moldes y elimina la plastelina de la base, la que había sido dispuesta alrededor de las piezas, y se colocan nuevas barreras de plastelina, con sus colas de milano. Este nuevo encofrado registrará la forma de la segunda parte del molde de silicona.

Antes de preparar y aplicar de nuevo silicona líquida, se pincelará vaselina alrededor de la pieza. Es fundamental que la silicona de la primera parte del molde que vaya a entrar en contacto con la

silicona de la segunda lleve sobre ella esta capa de vaselina. Con ello se evita que ambas partes del molde se adhieran.



Figura 12. Se perfilan las colas de milano de silicona, una vez eliminado el encofrado de plastelina. Fuente: María Ávila Rodríguez.



Figura 13. Se realiza la carcasa de escayola. Fuente: María Ávila Rodríguez.

Después, se prepara de nuevo silicona líquida y aplica sobre la pieza y la primera parte del molde. Las colas de milano de plastelina la contendrán.



Figura 14. Aplicación de vaselina alrededor de la pieza, sobre la silicona de la primera parte del molde. Fuente: original de la autora.



Figura 15. Aplicación de silicona dentro del nuevo encofrado de plastelina, a fin de realizar la segunda parte del molde. Fuente: María Ávila Rodríguez.

Una vez ha curado esta primera capa, se aplica una segunda de silicona con su agente de curado y tixotrópico, con la misma metodología seguida en la primera parte de los moldes y también en este caso se aplacan las crestas de silicona.

Una vez ha curado la silicona, se retira la barrera y colas de milano de plastelina y se recortan y perfilan las colas de milano. Después, se realizan llaves semiesféricas en la carcasa de la primera parte del molde y se aplica vaselina sobre ella. De este modo se evita que esta parte de la carcasa se adhiera a la que se va a realizar, ya para finalizar el molde.



Figura 16. Crestas de silicona ya aplacada. Fuente: María Ávila Rodríguez.

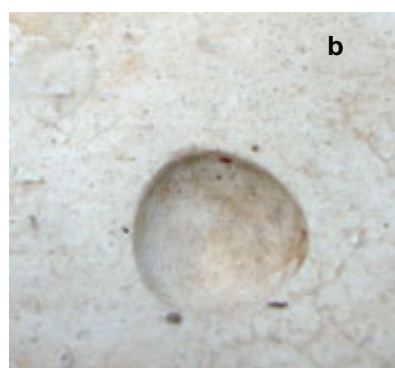


Figura 17. Realización de llaves semiesféricas en la carcasa de escayola a) utilización de un destornillador de punta redondeada en la realización de las llaves. b) Llave semiesférica. Fuente: original de la autora.



Figura 18. Moldes ya finalizados. Fuente: original de la autora.

Después, se procede a la apertura del molde y extraen los positivos de resina *Visijet® FTX Green*. Utilizando ahora los moldes con una resina epoxi, se realizan los vaciados con las coloraciones definitivas. Se ha empleado para ello la resina denominada *Epofer EX401*, con su endurecedor *E416*. Esta es una resina diseñada para laminados, pero podrían haberse empleado otros materiales dada la amplia variedad que existe en el comercio (epoxídicas con filtros UV, acrílicas, etc.). Algunas resinas epoxídicas presentan una gran tendencia a su amarilleamiento, si bien últimamente se han desarrollado algunas más transparentes y con filtros ultravioletas que retrasan notablemente este tipo de degradación. Como ejemplo de resinas transparentes para vaciados puede citarse *Epofer EX402* con su agente de curado *E430* y también las hay especialmente diseñadas

con baja viscosidad y con filtros UV y que se emplean como adhesivos. Hoy en día, las resinas acrílicas constituyen una alternativa a la utilización de otras resinas de vaciado, como las de poliéster o las resinas *epoxi*, aunque el hecho de que no sean transparentes y presenten una coloración blanca o dentro de la gama de los tierra reduce su posibilidad de empleo en la realización de cualquier vaciado que presenten coloraciones completamente opuestas (Feroqa, 2016; Sagristá Productos, 2016).



Figura 19. Apertura de los moldes. Aún conservan en su interior las piezas de resina *Visi-jet® FTX*. Fuente: original de la autora.



Figura 20. Resina epoxídica utilizada en el vaciado definitivo: EPOFER EX401, con su endurecedor E416. Fuente: original de la autora.

A continuación, se realiza una selección de pigmentos en polvo con los que se pintará el molde. Se pretende extraer la pieza pintada, debido a que, si se pinta *a posteriori*, es decir, una vez se ha extraído el vaciado del molde, perderá gran parte del registro de la silicona, ya que éste quedaría oculto bajo capas de pintura y la copia resultaría menos fidedigna. Los pigmentos, cuando no se aplican en cantidad excesiva, quedan adheridos temporalmente al molde de silicona. Si después se aplica sobre ellos la capa de resina, una vez esta ha curado, la *epoxi* actúa como aglutinante del pigmento dispuesto previamente sobre la pared del molde y lo fija.

Además de la resina y el endurecedor, debe seleccionarse un espesante, a fin de que la resina no descuelgue y pueda aplicarse con espátula sobre la pared del molde. Podría haberse optado también por realizar un molde donde la resina se utilizara por colada pero, en este caso, se ha optado por emplear un sistema de trabajo que es especialmente útil cuando se trabaja con piezas en las que no se desea gastar resina en exceso o se quiere incluir peso en su interior para que la reproducción se asemeje lo más posible al original<sup>3</sup>. Trabajando por capas, se obtendrá un vaciado

<sup>3</sup> Cuando se trata de reproducir una pieza con un gran peso (p. ej. un fósil), puede obtenerse la reproducción incluso con esta característica. Para ello, cuando se realiza la reproducción, se aplica una primera capa de resina con espesante sobre la pared del molde, intentando no arrastrar el pigmento en polvo que previamente se aplicó sobre él; se deja que endurezca y después, en una segunda fase, se incluyen elementos que pesen en el interior del vaciado, que es hueco. Las piezas que aportan peso pueden ser tornillería u objetos similares, que se adherirán a las paredes del vaciado mediante la utilización de resina con espesante.

hueco, en el que se habrá empleado una cantidad de resina menor que si el vaciado se realizara por colada. Dos buenos espesantes son *Bentone* o gel de sílice. En este caso se ha utilizado *Bentone*, arcilla modificada altamente absorbente. Por lo tanto, habrá de mezclarse la resina con su endurecedor y el espesante, así como con pigmentos para configurar el color de base.

Primeramente, se realizaron pruebas siguiendo la metodología descrita: pintura del molde con pigmento en polvo aplicado con pincel y después aplicación de la resina con su color de base (resina+endurecedor+espesante+pigmentos). Se deja curar la resina el tiempo estipulado por el fabricante (en este caso 24 horas) y se observa la prueba. Si han funcionado bien los distintos elementos en cuanto a color y viscosidad, se extrapolará la metodología seguida a la realización del vaciado definitivo.



Figura 21. Selección de los pigmentos en polvo. Fuente: original de la autora.

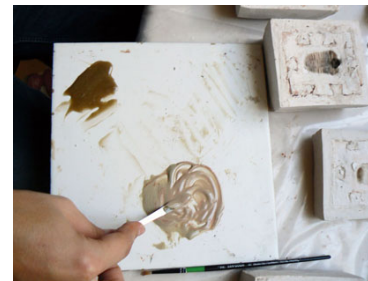


Figura 22. Mezcla de resina con endurecedor, espesante y pigmentos, a fin de conseguir el color de base. Se aplicarán sobre la base de pigmento en polvo pincelada previamente en el interior del molde. Fuente: original de la autora.



Figura 23. Aplicación con espátula del color de base de resina sobre la capa de pigmento en polvo pincelada previamente en el interior del molde. Fuente: original de la autora.

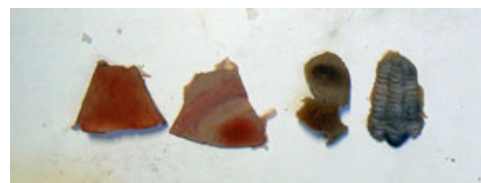


Figura 24. Después de aplicada la resina del color de base y transcurrido su tiempo de curado (24h), se retiran las pequeñas pruebas y se observa si ha funcionado bien el pigmento en polvo aplicado y su color de base en cuanto al color obtenido. Fuente: original de la autora.

Para ello, se pinta el molde convenientemente, con pigmento en polvo, de modo que se tengan en cuenta los resultados de la prueba, y se aplica la resina con su color de base (resina+endurecedor+espesante+pigmentos) en ambas partes del molde. Puede rellenarse completamente el molde con la resina, en cuyo caso esta incluiría una menor cantidad de espesante o incluso se podría prescindir de él, o bien aplicar el color de base con el suficiente espesante como para poder aplicarlo en forma de capa en las paredes del molde, como se ha indicado.

Es importante que, además de la capa de resina en la pared de cada una de las partes del molde, se aplique en el borde de la zona del vaciado un engrosamiento o cordón de resina cuya finalidad es asegurar que no quede ninguna oquedad en la zona de junta del vaciado. Además, antes de cerrar el molde, habrá de aplicarse vaselina en la zona de la escayola a fin de evitar que se peguen ambas partes de la carcasa si saliera algo de resina del interior del molde. A continuación, se cierra el molde y presiona con gatos o gomas para que la junta de la pieza ajuste de la manera más perfecta posible. Se espera a que cure la resina. Transcurridas 24 horas, se abre el molde y procede a eliminar la rebaba de resina a punta de bisturí.



Figura 25. Apertura de los moldes. Puede observarse la rebaba de resina alrededor de los vaciados. Fuente: original de la autora.

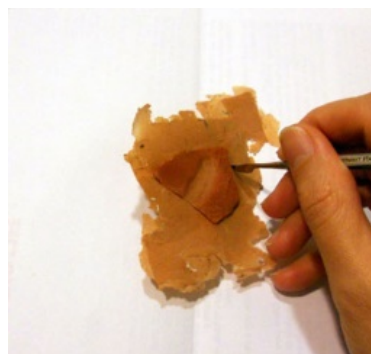


Figura 26. Proceso de eliminación de la rebaba de resina del vaciado del fragmento de *terra sigillata*. Fuente: original de la autora.

Una vez eliminada la rebaba de resina, se retocan cromáticamente los vaciados ya que, aunque se haya extraído la pieza ya pintada, siempre hay puntos que deben perfeccionarse, como la zona de junta y algunas manchas que se desee reproducir. Para ello, se emplean los colores *Gamblin*, a base de resina de urea-aldehído, ampliamente utilizados en la actualidad en restauración de obras de arte por su especial estabilidad.



Figura 27. Vaciados de resina una vez eliminada la rebaba. Fuente: original de la autora.

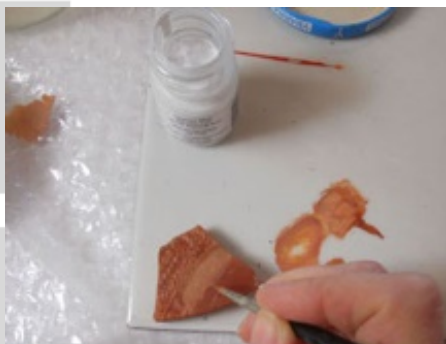


Figura 28. Retoque de la reproducción del fragmento de *terra sigillata* con colores *Gamblin*. Fuente: original de la autora.

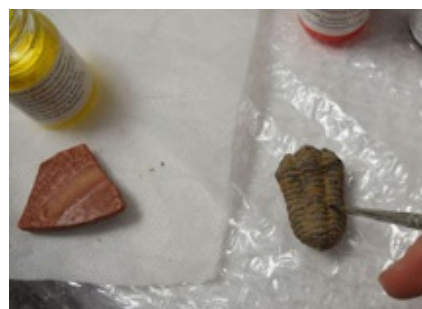


Figura 29. Retoque de la reproducción del *Trilobite* con colores *Gamblin*. Fuente: original de la autora.

### Resultados obtenidos y conclusiones

Como se comprueba, las reproducciones obtenidas se asemejan en gran medida a los originales, en cuanto a textura y color, con lo que se considera la metodología empleada como muy útil para llevar a cabo la reproducción de bienes culturales de manera completamente inocua para éstos, ya que el material de moldeo no entra en contacto con ellos.

El proyecto, por lo tanto, ha contemplado la digitalización de diversas piezas (un *Trilobite* y un fragmento de *terra sigillata*) con texturas y cromatismo diversas, con la finalidad de constatar si la metodología podría resultar válida para ambos casos, como efectivamente se comprueba.

Los resultados obtenidos podrán ser de utilidad a los profesionales implicados en la realización de reproducciones de objetos patrimoniales. La metodología descrita podrá contribuir por ello a la

conservación preventiva de bienes culturales y emplearse además con el fin de restaurar piezas a partir de su reconstrucción volumétrica, mediante la digitalización y reproducción de otros fragmentos de la misma pieza con texturas o relieves iguales al fragmento faltante.



Figura 30. *Trilobite*. Fuente: original de la autora.



Figura 31. Reproducción del *Trilobite*. Fuente: original de la autora.



Figura 32. *Terra sigillata*. Fuente: original de la autora.



Figura 33. Reproducción de *terra sigillata*. Fuente: original de la autora.

Además, se plantea la utilidad de esta metodología en la investigación, por ejemplo, de huesos o fósiles, donde el estudio podría realizarse sobre la reproducción sin necesidad de manipular una pieza original especialmente frágil. Aunque no se ha descrito en este artículo, también se ha realizado la impresión de un fósil, en concreto una vértebra caudal media del holotipo de *Spinophorosaurus nigerensis* (ejemplar GCP-CV-4229 depositado provisionalmente en el Museo Paleontológico de Elche) (*Dinosauria Saurópoda*), que procede del Jurásico Medio (Bajociense-Batoniense) de Azenak (Comunidad Rural de Aderbissinat, Dept. Thirozerine, Región de Agadez, República de Níger). Esta pieza ya había sido digitalizada previamente dentro del Proyecto PALDES por el equipo de investigadores del Grupo de Biología Evolutiva de la UNED.

En el ámbito de la Paleontología se está poniendo en práctica la metodología de escanear e imprimir a menor escala las piezas de mayor tamaño, de modo que para los investigadores sea más



sencillo manipularlas, tocarlas, colocarlas de modo que se aproximen a como estuvieron dispuestas originalmente en el animal. En este caso, no se ha realizado el molde de la pieza impresa y el positivo definitivo con resina, ya que para los investigadores únicamente resultaría especialmente importante la morfología de la pieza, no su coloración. Por tanto, esta metodología de actuación constituye también un ejemplo para objetivos similares.

Por último, también se plantea la utilidad de la metodología expuesta en la realización de reconstrucciones volumétricas de plumas de especímenes naturalizados. Por el momento, las pruebas realizadas en este tipo de materiales no han sido satisfactorias, como por otra parte se preveía, debido a la dificultad de su digitalización, aunque, de cara al futuro, se espera obtener mejores resultados con piezas con morfología menos problemática y difusa, como la piel sin pelo de los animales u otra serie de elementos a reintegrar, como patas o picos (Gil, 2015).

### Agradecimientos

Proyecto financiado por la Comunidad de Madrid Proyecto Geomateriales-2 (S2013/MIT-2914).

A los miembros del equipo investigador del PIMCD y a la UCM. A Margarita San Andrés por realizar las gestiones para la adquisición de la impresora 3D utilizada en el mismo. Al Proyecto PALDES y el equipo de investigadores del Grupo de Biología Evolutiva de la UNED y a Fátima Marcos.

### Referencias

- 3D Systems (2016). Precision, productivity; real parts & functional prototypes. Recuperado de: <http://www.3dsystems.com/3d-printers/professional/overview>
- Escriva, F., y Madrid, J. A. (2010). El mundo virtual en la restauración. Aplicaciones virtuales para la conservación y restauración del patrimonio, *Arché. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV*, 4 y 5, 11–20.
- Factum Arte. (2016). Facsímile of the Dama de Elche [vídeo]. Recuperado de <http://www.factum-arte.com/pag/47/Facsimile-of-the-Dama-De-Elche>
- Farjas M., y Arcia F. J. (2008). *Modelización tridimensional y sistemas laser 3D aplicados al patrimonio histórico*. Madrid: Ediciones de la Ergástula.
- Feroxa (2016). Epofer EX402+E430 Epoxi Transparente-Filtro UV. Recuperado de <http://www.feroca.com/es/resinas-epoxi/82-epofer-ex402-e430-epoxi-trasparente-filtro-uv.html>
- Gil, R. (2015). *Protocolos de conservación y restauración aplicables a la Colección de Aves y Mamíferos naturalizados del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MNCN-CSIC)*, (Tesis doctoral), Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Kosciuk, J. (2012). Modern 3D scanning in modelling, documentation and conservation of architectural heritage, *Journal of Heritage Conservation*, 32, 82–88.

Natural-History-Conservation.com. (2016). Making Replicas. Recuperado de: <http://www.natural-history-conservation.com/replicas.htm>

Pereira, C. (1999a). Facsímiles de objetos de arte tridimensional 1º Parte: Moldeo, Valencia: *Restauración & Rehabilitación*, 25, 66–71.

Pereira, C. (1999b). Facsímiles de objetos de arte tridimensional 2º Parte: Vaciado, Valencia: *Restauración & Rehabilitación*, 26, 66–71.

Rosende S., y Andrés, J.C. (2003). Clonar el patrimonio histórico. Creación de una réplica. Aplicación de nuevas tecnologías en conservación, *Pátina*, 12, 23–38.

Sagrístà Productos. (2016). Base acrílica. Recuperado de <http://www.sagristaproducts.com/es/55-base-acrilica>.

Wachowiak, M., y Kara, B. V. (2009). Scanning and replication for museum and cultural heritage applications, *Journal of the American Institute for Conservation*, 48, 141–158.

Williams, N., y Williams, G. (2016). TATE. Replicas of constructions by Naum Gabo: A Statement by the Copyright Holders. Recuperado de <http://www.tate.org.uk/research/publications/tate-papers/replicas-constructions-naum-gabo-statement-copyright-holders>.

**Para citar este artículo:** Santos Gómez, S. (2017). El empleo de las tecnologías 3D en la conservación del patrimonio y su aplicación en la realización de reproducciones de bienes culturales. *Observar*, 11(1), 97–114.