

# La digitalización en la asignatura de moldes y reproducciones en la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid

Mario Oliva Puertas

Profesor de la ESCRBC

## Resumen

Frente al desarrollo tradicional en las asignaturas de moldes y reproducciones en las que se enseñan las técnicas de moldeo con materiales rígidos o flexibles manipulando de forma directa el objeto a reproducir, en los últimos años se vienen incorporando y adaptando las nuevas tecnologías de registro a esta asignatura de carácter técnico que se imparte en las distintas especialidades en los estudios de conservación y restauración. Por ejemplo, en la asignatura Moldes y reproducciones aplicadas a la conservación y restauración impartida en la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid se han incorporado métodos de registro como la fotogrametría y escaneado que permiten desarrollar múltiples aplicaciones en este campo. En este trabajo se presentarán diversos trabajos y casos prácticos que se han ido desarrollando en la mencionada asignatura y que han trascendido a otras asignaturas del currículo formativo de los titulados superiores en conservación y restauración que ofrece la ESCRBC.

**Palabras clave:** Fotogrametría, escáner, modelado 3D, documentación, conservación, reintegración, facsímil, modelo virtual, prototipo

## Digitization in the subject of molds and reproductions

### Abstract

As opposed to the traditional development in the subjects of molds and reproductions in which molding techniques are taught employing rigid or flexible materials and directly manipulating the object to be reproduced, in recent years new recording technologies have been incorporated and adapted to this technical subject taught in the different specialties in the studies of conservation and restoration. For example, in the subject Molds and reproductions applied to conservation and restoration at the School of Conservation and Restoration of Cultural Heritage in Madrid, registration methods such as photogrammetry and scanning have been incorporated, allowing the development of multiple applications in this field. In this paper, I will present several works and case studies that have been developed in the above-mentioned subject and that have transcended to other subjects of the formative curriculum of the graduates in conservation and restoration degree offered by the ESCRBC.

**Keywords:** Photogrammetry, scanner, 3D modeling, documentation, conservation, reintegration, facsimile, virtual model, prototype

## INTRODUCCIÓN

No es necesario justificar la importancia<sup>1</sup> que la digitalización del patrimonio cultural está tomando en los últimos decenios. Fruto de esta evolución es representativa la periodicidad de los encuentros y congresos que se centran en el registro y virtualización del Patrimonio Cultural, cabe destacar los Principios Internacionales de Arqueología Virtual, llamados *Principios de Sevilla*, resultado del Forum Internacional de Arqueología Virtual realizado en 2011, en donde participaron instituciones internacionales como el ICOMOS, CIPE, y asociaciones nacionales, Sociedad Española de Arqueología Virtual (SEAV).

Sin duda, la incorporación y asimilación de las nuevas tecnologías e innovación en el campo de la conservación del patrimonio cultural está revolucionando las prácticas tradicionales y nos abre nuevas vías de trabajo en donde la aplicación de conceptos tan necesarios como la sostenibilidad (Stovel, 2003, pág. 74) puede ayudarnos a la preservación de la infinita riqueza de nuestro patrimonio.

El uso de estas tecnologías de registro y su “visualización asistida por ordenador” (ICOMOS, 2011) nos permite analizar de forma ágil su estado actual convirtiéndose en un instrumento fundamental para la transmisión de la información. Además de ser una herramienta imprescindible en trabajos de documentación gráfica y difusión, mejora la gestión del conjunto de intervenciones habituales en conservación y restauración, como antes se mencionó, reduciendo el tiempo de manipulación. Nos permite estudiar y ensayar previamente propuestas de intervención en tratamientos de adhesión y reintegración, la realización de prototipos del modelo, o crear elementos auxiliares necesarios para su conservación.

Es en 2018, cuando las primeras aproximaciones al modelado digital y a las nuevas técnicas de registro de bienes culturales se incorporan a la asignatura que imparto. En ese momento José Antonio Díaz Vargas, profesor de *Recursos informáticos aplicados a la conservación-restauración* y Marta Rodríguez Santos, profesora de la asignatura de *Proyectos de conservación-restauración*, incluyeron en el contenido de su asignatura la innovación tecnológica aplicada a unos objetivos concretos: el aprendizaje del diseño asistido por ordenador<sup>2</sup> en la creación de

1. La consideración de las técnicas de fotogrametría y uso del escáner para el registro de nuestro patrimonio cultural mundial tiene sus antecedentes en la creación de “grupos de trabajo de registro” creados en el seno del ICOMOS en 1995. Actualmente esta labor de registro se promueve en el Comité Internacional de Documentación del Patrimonio, heredero del CIPE, Comité Internacional de Fotogrametría Arquitectónica.

2. Tecnología asociada a las siglas CAD, de Computer Aided Design.

modelos 3D, digitalización 3D de monumentos como herramienta en la medición de proyectos de intervención, la aplicación de texturas de imagen y otros resultados obtenidos a partir de aplicaciones 2D y 3D. En este ambiente y aprendiendo de los compañeros me propuse incluir estas tecnologías al contenido de la asignatura, de esta forma se solicitó la participación de Marta Martínez García<sup>3</sup> como profesora especialista para la realización de prácticas de fotogrametría, esto supuso un impulso fundamental para la renovación de la asignatura.

## OBJETIVOS

Las propuestas de trabajo van orientadas a explorar las distintas posibilidades de aplicación de la digitalización de los bienes culturales en el campo de la conservación y restauración, además de ofrecer al conservador y restaurador instrumentos para la resolución de las dificultades que se encuentra en su intervención. El desarrollo de los trabajos se orienta a conseguir los objetivos marcados en el descriptor y enunciado de las competencias que el alumno que cursa esta asignatura debe obtener<sup>4</sup>.

Como antes se comentó, uno de los objetivos de la asignatura es la realización de réplicas o facsímiles<sup>5</sup>. Las nuevas técnicas de impresión 3D nos permiten trasladar los modelos virtuales obtenidos a una realidad física. Algunos de ellos se han preparado para su impresión obteniendo soportes en donde los alumnos han podido aplicar técnicas de reintegración cromática para la obtención de resultados.

## METODOLOGÍA

De forma general el protocolo de actuación seguido en los trabajos presentados incluye las siguientes fases:

- Documentación de la pieza u objeto de estudio: Se incluye la documentación gráfica y fotográfica recogida antes de la digitalización. Los croquis y dimensiones tomadas nos vendrán bien para contrastarlos con las dimensiones del modelo 3D obtenido.

3. Durante el último trimestre de 2018 impartió el curso Introducción a Blender 2.79 aplicado a la conservación y restauración de bienes culturales, organizado por el Departamento de Técnicas y Prácticas de Conservación y Restauración de la ESCRBC, de Madrid.

4. En el DECRETO 33/2011, de 2 de junio del Consejo de Gobierno, se establece el Plan de Estudios para la Comunidad de Madrid de las enseñanzas artísticas superiores de Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales (BOCM de 14 de junio de 2011) y recoge para las especialidades de Bienes Arqueológicos y Escultura la asignatura de Moldes y reproducciones aplicados a la conservación y restauración, estableciendo el contenido y las competencias generales propias de la asignatura de Moldes y reproducciones aplicados a la conservación y restauración.

5. Eleuterio Baeza Chico y Adam Lowe de Factum Arte utilizan estos términos respectivamente en sus publicaciones.

- Digitalización del objeto: Mediante fotogrametría o escáner obtenemos una secuencia de registros en distintos formatos de archivo.
- Procesamiento: Edición 3D de los registros obtenidos y obtención del modelo tridimensional.

Según los objetivos perseguidos se han establecido otras fases de actuación:

- Obtención de modelos ideales 3D.
- Obtención de modelos de reintegración volumétrica.
- Impresión 3D de archivo generado.
- Cotejo de las medidas de la pieza original con aquellas obtenidas virtualmente y en la impresión.

## CONTENIDO

Antes de la exposición de los casos sería conveniente hacer una breve descripción de términos y conceptos en torno al objeto digital. Para la obtención del modelo utilizaremos dos sistemas de registro: la fotogrametría, técnica que gestiona las capturas de imagen obtenidas mediante la fotografía del objeto; el escáner, instrumento que analiza la emisión y recepción de una señal electromagnética, en nuestro caso un haz de luz estructurada para definir la forma y de colores primarios para obtener el color.

Los distintos sistemas de registro que se exponen, fotogrametría y escaneado, nos ofrecen como resultado lo que denominamos *nube de puntos*, densa o ligera, que corresponden a los puntos de luz y color situados en el espacio que definen al objeto. Para la obtención del sólido o volumen los softwares 3D procesan y construyen en torno a la nube de puntos una *mall*a, formada por vértices, aristas y lados a modo de triángulos (*tris*) o polígonos de cuatro lados (*quads*) que recorren toda la superficie. A mayor resolución del objeto, la malla será más compleja, los que supondrá modelos tridimensionales de mayor calidad y tamaño de archivo, lo que puede suponer una gestión más compleja, en función del ordenador que utilicemos. En la mayoría de nuestras gestiones

hemos utilizados ordenadores con procesadores Intel CORE i7 y tarjeta gráfica NVIDIA<sup>®</sup>GEFORCE<sup>®</sup>GTX.

A continuación, se describen las prácticas de digitalización realizadas dentro de la asignatura en colaboración con el Departamento de Conservación y Restauración. La descripción se centrará en exposición de los resultados obtenidos y hará un breve recorrido de la metodología aplicada para la obtención de los objetivos marcados sin detenernos de forma pormenorizada en los distintos pasos dados:

- Estudio de un léctitos. Obtención de un modelo ideal.
- Digitalización de una mano del maniquí. Obtención de un modelo especular o simétrico, impresión y policromía.
- Digitalización de figurilla de terracota. Obtención del volumen ideal para su reintegración.
- Fragmentos sueltos. Obtención y estudio de modelos 3D ideales.
- Obtención de elementos auxiliares: Soportes de exposición, de depósito y transporte.

## **DIGITALIZACIÓN DE UN LÉCTITOS Y REALIZACIÓN DE UN MODELO IDEAL**

El siguiente estudio parte de la colaboración con Ángel Gea, profesor de la asignatura *Conservación y restauración de B.B.A.A. Pétreo y Silíceo*, de los alumnos del 3º Curso de la especialidad de Arqueología y de Marta Martínez profesora especialista que participa en las prácticas a realizar durante el curso 2018-2019.

Una de las prácticas que realizan los alumnos es la digitalización mediante fotogrametría de un objeto, en este caso se eligieron dos léctitos presentes en el Aula de Arqueología. Uno de ellos entero (Imagen 1) con daños en la decoración, y otro con pérdidas volumétricas superiores a un 50% del total en la parte superior.

A partir de la digitalización del objeto obtendremos toda la información necesaria para realizar croquis, acotaciones y secciones (Imagen 2) que

**Imagen 1.** Rendereizado en estudio digital con Blender 2.81.

puedan incorporarse a la documentación gráfica que aportaremos en el informe de intervención. Se creará un modelo 3D que sirva como instrumento de apoyo a la posible reintegración volumétrica virtual del léцитos con pérdidas.

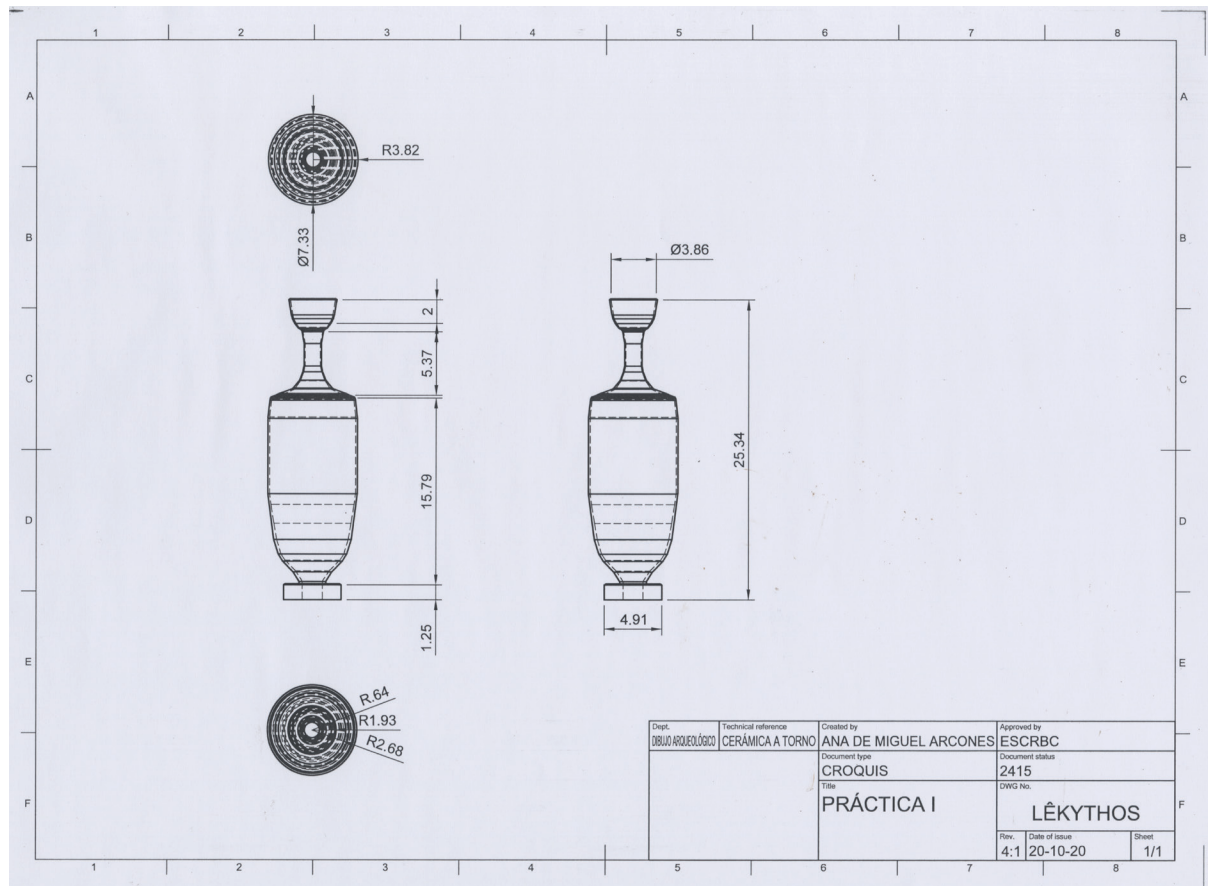


Toma de datos:	Marta Martínez y alumnos de 3ºBA
Fecha de registro:	10/05/2020
Técnica de Documentación	Fotogrametría
Procesado	Photoshop CC19 Procesado de imagen: <i>Agisoft Metashape Standard</i> Modelado: <i>Blender 2.79</i>

La obtención del modelo 3D mediante fotogrametría, ha seguido la siguiente secuencia de trabajo: Toma de fotografías, gestión de color y procesado de imagen en *Photoscan* (actual *Agisoft Metashape Standard*).

El modelo 3D resultante podemos exportarlo en distintos formatos, para poder gestionar los modelos en distintas aplicaciones CAD 3D. En

nuestro caso hemos utilizado la aplicación de *Fusion 360* Autodesk<sup>6</sup> para la obtención de croquis y *Blender 2.82* para la obtención de otros resultados que se muestran a continuación.



Una de las posibilidades que nos ofrecen distintas aplicaciones de modelado 3D es poder conseguir un volumen de revolución a partir de un perfil determinado en un plano, este instrumento llevado al conjunto de objetos cerámicos realizados con torno nos permite la reconstrucción del objeto si los fragmentos encontrados recogen la totalidad del perfil. En nuestro caso tenemos la totalidad del perfil externo de uno de los lécytos. Vamos a aplicar esta metodología en nuestro objeto de estudio para la obtención de ese *modelo ideal* (Imagen 5).

Situando el modelo 3D de forma que visualicemos uno de los alzados en visión ortográfica, se ha realizado un corte radial con el fin de obtener el perfil externo de revolución, el corte se ha realizado en la zona que no corresponde con el asa, registrando la forma del vaso sin el elemento añadido en su construcción.

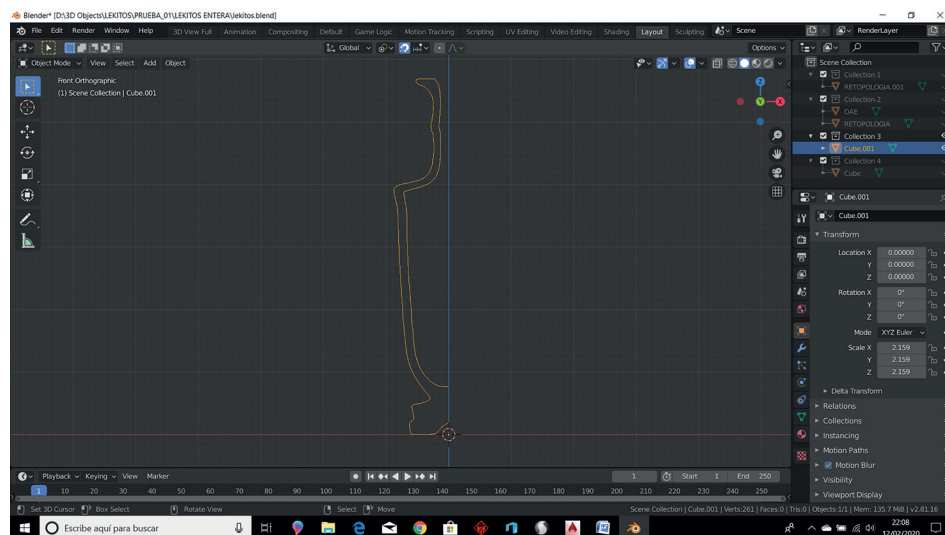
**Imagen 2.** Croquis obtenido mediante la aplicación *Fusion 360*, de Autodesk por Ana de Miguel Arcones.

6. Para más información véanse <https://www.autodesk.es/products/fusion-360/overview>.



**Imagen 3.**  
Obtención del perfil ideal del léцитos situado en el eje de rotación.

El perfil interno no es visible y difícilmente medible, para su trazado (Imagen 3), se ha utilizado como referencia otros estudios de análisis tomográficos (Karl, Jungblut, Mara, Wittum, & Krömker, 2014, pág. 254) realizados en tipologías cerámicas clásicas de tamaño similar (aryballos, lekythos, etc.), de los que podemos deducir con un pequeño margen de error ( $\leq 10\%$ ) el grosor de las paredes del vaso.

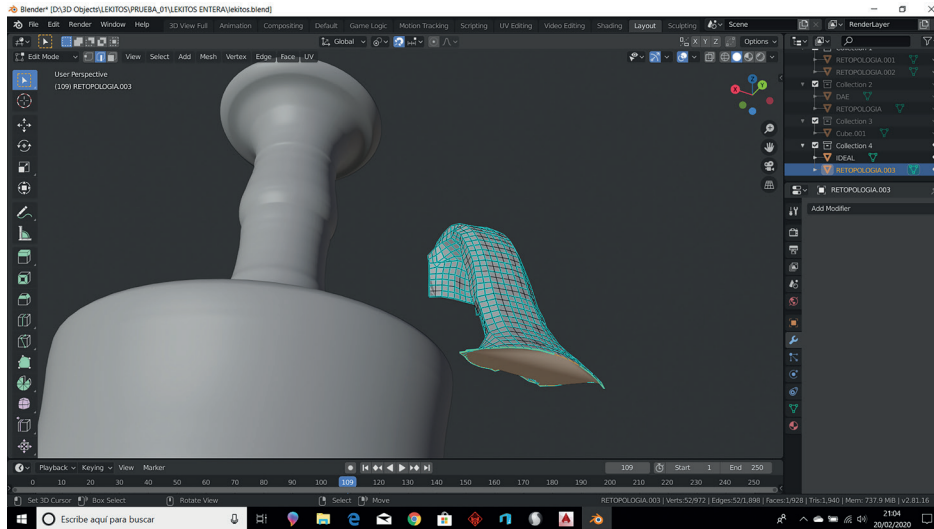


7. El desarrollo del modelado y obtención del modelo ideal se encuentra descrito en el proyecto de investigación denominado: *“Clasificación de fragmentos y reconstrucción virtual inteligente de bienes arqueológicos cerámicos mediante escaneado 3D láser de alta resolución”*, proyecto que ha recibido el apoyo de la Dirección General de Universidades e Investigación en el marco del I Programa Institucional de Apoyo a la Investigación en los Centros de Enseñanzas Artísticas Superiores de la Comunidad de Madrid.

La simetría de la forma del vaso cerámico, recordemos realizado a torno, no era perfecta, el cuello presentaba una ligera inclinación frente a la vertical. Para obtener un modelo ideal era necesario corregir la línea externa del perfil, tomando como referencia las medidas reales del diámetro del cuello. De esta forma podemos obtener un modelo de aplicación a otros vasos cerámicos de la misma tipología, evitando las deformaciones propias del modelo digitalizado.

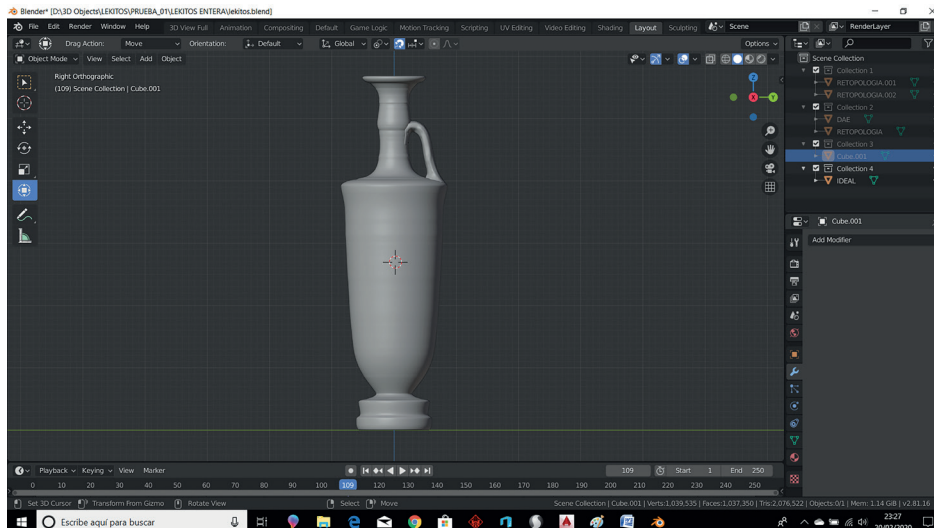
Aplicando el modificador *Boolean* de *Blender 2.81* a la línea diseñada en torno al eje elegido Z, obtenemos el volumen de revolución que constituye el cuerpo principal del objeto cerámico.

Elementos como asa y decoraciones que no responden a la revolución del volumen se han de modelar de forma independiente y añadirlos al cuerpo principal<sup>7</sup>. En nuestro caso la solución más rápida y efectiva ha sido extraer del modelo digitalizado la malla correspondiente al asa y aplicarla al modelo ideal (Imagen 4).



**Imagen 4.** Modelado del léctos en Blender 2.82.

**Imagen 5.** Vista ortográfica del modelo ideal.



## DIGITALIZACIÓN DE UNA MANO DEL MANIQUÍ PAQUITO. OBTENCIÓN DE UN MODELO ESPECULAR O SIMÉTRICO. IMPRESIÓN Y ACABADO.

El siguiente caso que se presenta es el resultado de una colaboración con Francisco Javier Casaseca García, profesor de la asignatura *Conservación y restauración de escultura en materiales inorgánicos* del 3º curso de la especialidad de escultura, y de Ana Carretero Malta alumna de la asignatura.

El objeto en cuestión es la única mano que se conserva del maniquí *Paquito*, escultura de mediados del siglo XX, perteneciente a la colección de maniqués de Pedro Feijoo, en relación con la *Casa Benítez*<sup>8</sup>, sastrería ubicada en la C/ Infantas, de Madrid, inaugurada en 1929.

8. Véanse <http://www.sastreriaca-sabenitezmadrid.com/empresa.php#contenido>.

**Imagen 6.**  
Renderizado en estudio digital con Blender 2.79.

Estas esculturas normalmente se realizaban con molde y podían presentar algún tipo de simetría en sus miembros. La intención inicial era la digitalización y documentación de la mano, pero las posibilidades de modelado en software 3D nos ofrecía la ocasión de poder facilitar un modelo especular, simétrico, que pudiera servir, según el criterio del conservador, como instrumento a valorar en intervenciones de la reintegración volumétrica.

La digitalización se obtuvo mediante la técnica de fotogrametría<sup>9</sup>, diseñando una estrategia de capturas adecuada para obtener toda la información. Tras su tratamiento de imagen con *Photoshop CC19*, y procesamiento con *Agisoft Metashape Standard* se obtuvo el modelo tridimensional.

Toma de datos:	Ana Carretero Malta
Fecha de registro:	04/05/2020
Técnica:	Fotogrametría
Procesado	<i>Photoshop CC19</i>  Procesado de imagen: <i>Agisoft Metashape Standard</i>  Modelado: <i>Blender 2.79</i>

9. Para conocer el desarrollo de la técnica aplicada citamos el PROYECTO FOTOGRAMETRÍA Y DOCUMENTACIÓN 3D APLICADAS A LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES documento generado a partir del Seminario de formación del profesorado. Curso 2019-20. CTIF Madrid Capital, en la Escuela Superior de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de Madrid, impartido por Marta Martínez García.

El modelo obtenido se importó a la aplicación CAD Blender 2.82. Se obtuvo un renderizado (Imagen 6) de la mano en un estudio digital de las diferentes vistas, de forma que podemos tener un soporte de imagen que podamos utilizar en aplicaciones 2D, por ejemplo, para la obtención de mapas de daños, croquis u otro tipo de documentación gráfica de interés.



Como hemos señalado anteriormente, *Blender 2.82* nos ofrece modificadores para la transformación del modelo tridimensional, en nuestro caso hemos aplicado el modificador *Mirror*, obteniendo un modelo simétrico, especular, que puede servir de soporte de apoyo a intervenciones de reintegración volumétrica (Imagen 7).

**Imagen 7.** Rendizado del modelo original y del modelo generado.



## DIGITALIZACIÓN DE FIGURILLA DE TERRACOTA. OBTENCIÓN DEL VOLUMEN IDEAL PARA SU REINTEGRACIÓN

En el siguiente caso también hemos aplicado al objeto las reglas de simetría en torno a un eje vertical. Se trata del estudio y digitalización de una terracota figurativa (Imagen 8) perteneciente a los bienes en depósito en el Aula-Taller de la asignatura *Conservación y restauración de B.B.A.A. Pétreo y Silíceo*, en colaboración con Ángel Gea como profesor de la asignatura y Blanca Zarzalejos Vicens, alumna del tercer curso de la especialidad de Arqueología que realizó el registro de la pieza.

Toma de datos:	Blanca Zarzalejos Vicens
Fecha de registro:	24/03/2021
Técnica:	Escáner: EinScan SP, de Shining
Procesado	<p><i>Photoshop CC19</i></p> <p>Procesado de imagen: <i>Agisoft Metashape Standard</i></p> <p>Modelado: <i>Blender 2.79</i></p>

**Imagen 8.** Renderizado en estudio 3d antes de la intervención de restauración.



La terracota, de pequeñas dimensiones 51x50x40 mm., presenta una pérdida parcial del rostro, pero conserva más del 50%, lo que nos ha sugerido barajar la propuesta de reintegración virtual del volumen de nuestra cara y, por qué no, una propuesta de reintegración física y real.

Realizada la digitalización, los programas de modelado 3D nos permiten la reintegración del fragmento, bien mediante modelado directo basado en un conocimiento real de la figura (a través de una posible documentación previa), o mediante la aplicación del criterio de simetría en la reintegración.

La intervención virtual se ha dirigido por este segundo camino, el objetivo no es la reintegración del volumen del objeto tal cual fue, no tenemos la documentación precisa, lo que se persigue es recuperar una lectura que nos aproxime en cierta manera a la información global del objeto.

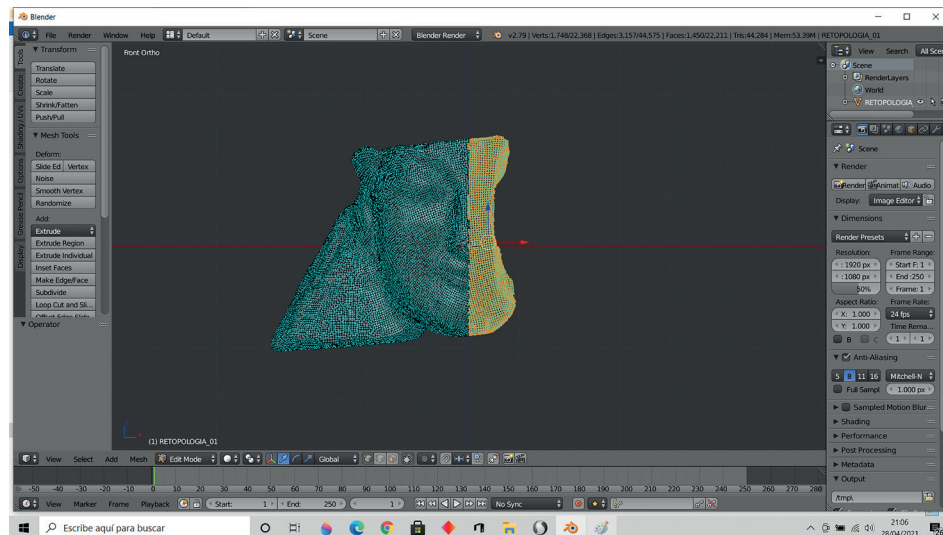
Con la suposición de que este tipo de figuras corresponde a una tipología que cumple, en cierta medida, una regla formal de simetría respecto al eje central, se han aplicado modificadores que ofrecen los programas CAD para obtener un modelo de la reintegración.

El procesamiento de los modelos digitales se agiliza utilizando archivos con información menos pesada. El escáner EinScan SP nos ofrece distintos grados de resolución en los modelos. En los informes de intervención se contempla la obtención de un modelo de máxima resolución, a fin de adjuntarlo en la documentación de la pieza; y un modelo de menos resolución que nos permita un procesado viable con la capacidad de nuestros procesadores.

La estrategia de trabajo va a consistir en los siguientes pasos: importando nuestro modelo, en un programa de modelado 3D (en nuestro caso *Blender 2.82*), utilizaremos como argumento la simetría del objeto, trazando un eje vertical aproximado que divida por la mitad a la terracota, seleccionaremos una de las caras en su totalidad, es decir, una mitad del rostro. Y a partir de ella, aplicando uno de los modificadores

de transformación *Mirror* que nos ofrece el programa, generaremos una reconstrucción simétrica, especular del modelo, obteniendo un conjunto representativo de la totalidad del bien cultural en su origen, completo.

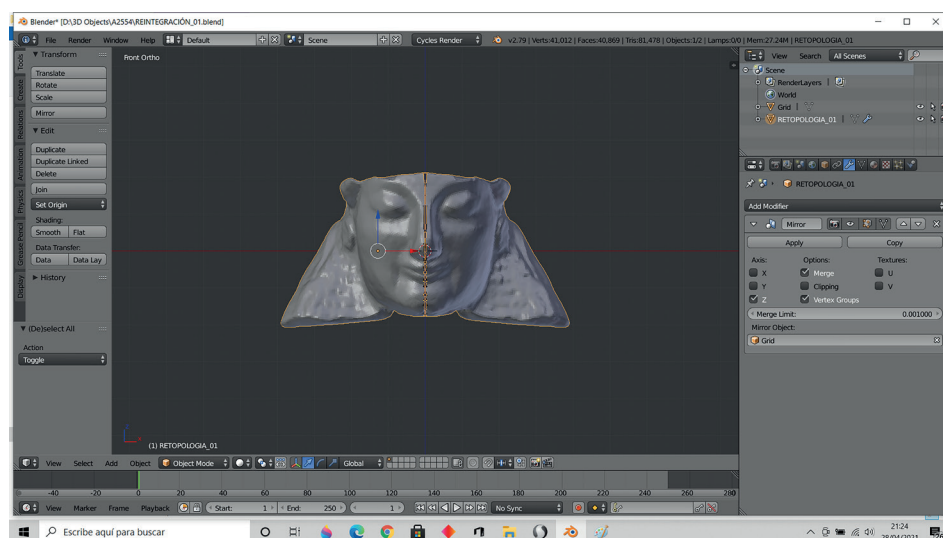
**Imagen 9.** Selección de vértices del modelo y posterior eliminación de las partes originales.



**Imagen 10.** Resultado de la modificación para su posterior modelado y obtención de modelo ideal.

En modo edición se han seleccionado los vértices que no son necesarios para la obtención del modelo ideal. La eliminación se ha de repetir hasta eliminar todos los vértices (Imagen 9).

El modelo en un solo archivo ha de ser modelado y cerrado mediante la unión de los elementos de la malla (vértices, aristas y planos). En este momento es conveniente cotejar las medidas reales con las del modelo virtual obtenido (Imagen 10), variando el eje de simetría, podemos modificar el ancho del rostro con el fin de obtener un modelo más próximo a la realidad.



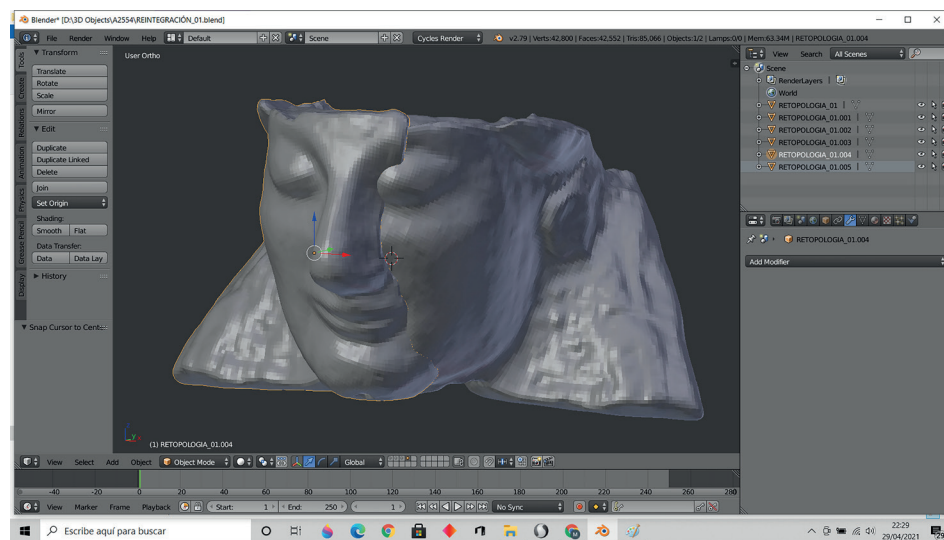
**Imagen 11.** Colocación de los modelos en el espacio antes de proceder a la operación.

**Imagen 12.** Rende-reizado en Blender 2.79 del modelo virtual de reintegración.

Una vez obtenido este modelo ideal, el proceso siguiente es restar el volumen del modelo real digitalizado de la pieza (Imagen 11), la diferencia de ambos modelos nos dará como resultado otro modelo que represente la pérdida material de la figurilla.

Prototipo – Modelo *Real* = *Modelo de reintegración*

Si queremos que el proceso sea efectivo, es fundamental que la superposición de los modelos sea correcta, ya que vamos a utilizar el modelo original para restarlo.



10. El desarrollo del modelado se encuentra descrito en el proyecto de investigación denominado: “Clasificación de fragmentos y reconstrucción virtual inteligente de bienes arqueológicos cerámicos mediante escaneado 3D láser de alta resolución”, proyecto que ha recibido el apoyo de la Dirección General de Universidades e Investigación en el marco del I Programa Institucional de Apoyo a la Investigación en los Centros de Enseñanzas Artísticas Superiores de la Comunidad de Madrid

El resultado obtenido mediante el modificador *Boolean* nos da un modelo abierto en los límites de la intersección, deberemos cerrar la malla para obtener un modelo de reintegración (Imagen 12). La estrategia<sup>10</sup> ha consistido en extraer la huella de fractura del modelo original y añadirla al modelo de reintegración de forma manual, uniendo las distintas mallas, vértices con vértices y aristas con aristas.

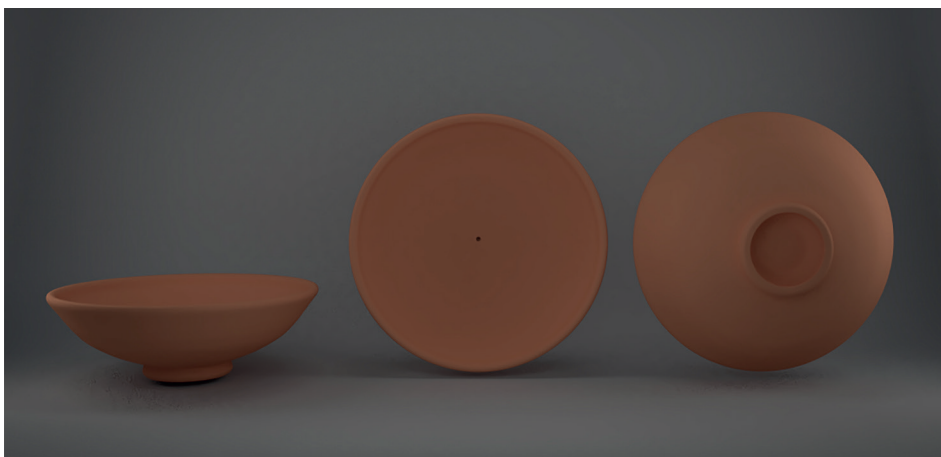


## DIGITALIZACIÓN DE FRAGMENTOS SUELTOS. OBTENCIÓN Y ESTUDIO DE MODELOS 3D IDEALES

Dentro de la arqueología la localización y extracción de objetos cerámicos tiene especial importancia, siendo uno de los materiales más abundantes y debido a su naturaleza más o menos estable, nos permite su identificación con contextos culturales determinados y en ciertas cronologías demuestran su uso como fósil director.

En la restauración de objetos cerámicos realizados a torno la posibilidad de obtener un conjunto de fragmentos con continuidad que recorre la totalidad del perfil nos permite extraer la información necesaria para reconstruir su forma, era el caso del modelo *lécitos* estudiado anteriormente. Mediante la información aportada por croquis, dibujos y fotografías, o mediante técnicas de moldeo (Gea García, Acáz Mendive, & Segoviano Lorenzo, 2008) se pueden crear volúmenes de reintegración física y tangible que sirven de soporte de reintegración al conjunto de fragmentos. Y por supuesto, a partir de los croquis y secciones tomadas de forma directa podemos utilizar programas de modelado 3D para la obtención de modelos virtuales, como ejemplo podemos ver en la (Imagen 13) el tratamiento de modelado 3D de un cuenco ibérico a partir del croquis del perfil obtenido después de la adhesión de los fragmentos restaurados.

**Imagen 13.** A partir de un croquis realizado directamente podemos obtener el modelo virtual.



El estudio que ahora se muestra tiene como objetivo obtener la mayor información posible a partir de la digitalización y análisis geométrico de fragmentos sueltos, individuales, sin relación con otro conjunto que nos permita obtener la totalidad del perfil.



La digitalización de los fragmentos y su posterior modelado en software 3D nos permitirá crear modelos ideales sobre los que podemos hacer distintas interpretaciones y extraer información relevante para la investigación. En función de localización de estos en el vaso cerámico, la información será más o menos precisa.

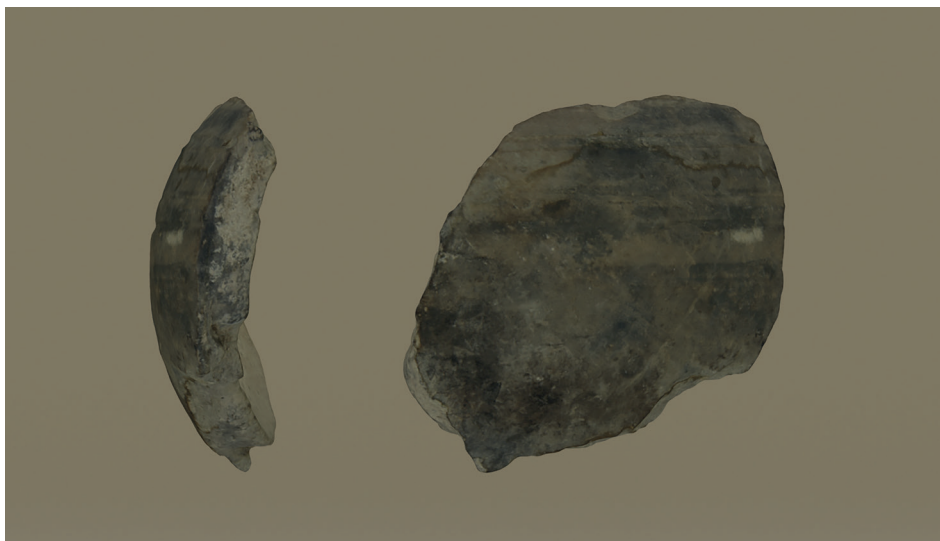
Esta información sería necesario contrastarla con modelos ya digitalizados de las diferentes tipologías. No hay que olvidar que las formas cerámicas son representativas de cada cultura con un concreto número de formas. Generar modelos 3D ideales de distintas formas de objetos cerámicos de revolución, permitiría trabajar sobre patrones 3D de tipos que ayudarían a la interpretación de estos fragmentos particulares.

El esquema de trabajo que se ha aplicado en este estudio sigue la metodología propuesta, profundizando en el análisis geométrico para la obtención de la morfología del objeto:

- Obtención del modelo 3D: mediante escáner o fotogrametría
- Análisis geométrico del fragmento en programas de modelado 3D: Calculando las dimensiones de planta, los radios de revolución y las secciones representativas.
- Estudio y documentación de tipologías relacionadas para su comparación con los fragmentos estudiados.

Para la realización del estudio se han recogido una serie de fragmentos (9) en las “Torrecillas” en Berlanga de Duero, Soria. En esta localización podemos encontrar restos cerámicos correspondientes a distintas cronologías. La remoción del terreno y la presencia de restos cerámicos incluidos en los morteros de muros y estructuras realizados con posterioridad complican la localización de conjuntos completos. El terreno sin estudios arqueológicos que confirmen la existencia de poblados celtibéricos evidencia la presencia de fragmentos de esta cerámica, al igual que restos de cerámica islámica y moderna intuyendo una secuencia cronológica común en otras tierras de la provincia.

Como ejemplo de la metodología aplicada y de los resultados obtenidos se muestra la intervención aplicada en uno de los fragmentos (Imagen 14).



**Imagen 14.** Vista ortográfica frontal y lateral derecho del fragmento 001.

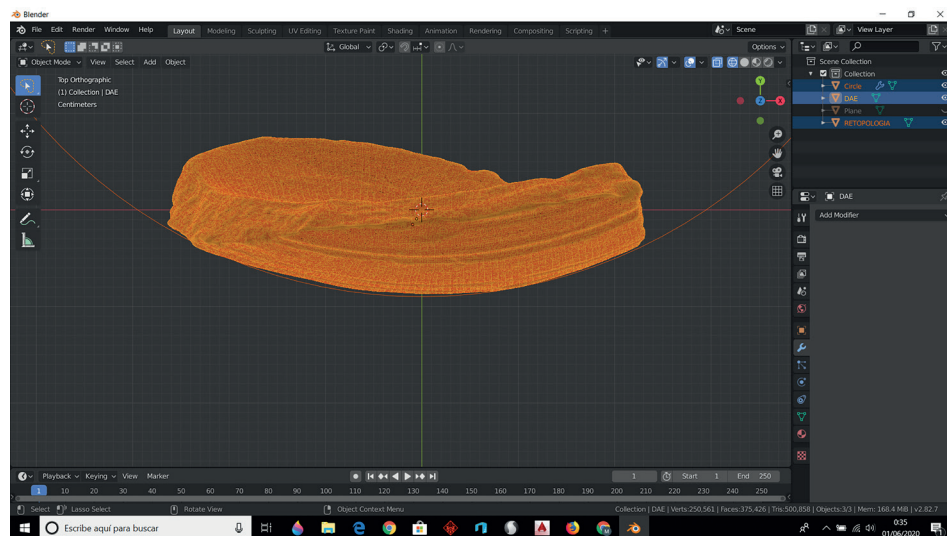
Toma de datos:	Mario Oliva Puertas
Fecha de registro:	04/05/2020
Técnica:	Fotogrametría
Procesado	<p><i>Photoshop CC19</i></p> <p>Procesado de imagen: <i>Agisoft Metashape Standard</i></p> <p>Modelado: <i>Blender 2.79</i></p>

El fragmento cerámico con marcas de fabricación con torno corresponde a parte del cuerpo del objeto (*galbo*), presenta decoración incisa en forma de bandas paralelas con posibles impresiones circulares alineadas. Las dimensiones 49 x 44 mm y un grosor de 5-7 mm, nos permiten obtener la dimensión del radio de revolución.

La disposición espacial del fragmento ha seguido una premisa, la decoración de bandas incisas se suponen dispuestas horizontalmente, esto nos puede facilitar con un mínimo error la posición vertical del fragmento y nos informa de la dimensión máxima del cuerpo. Por otra parte, a diferencia de grosor del fragmento corresponde a una lógica en la que el mayor grosor corresponde a la parte inferior.

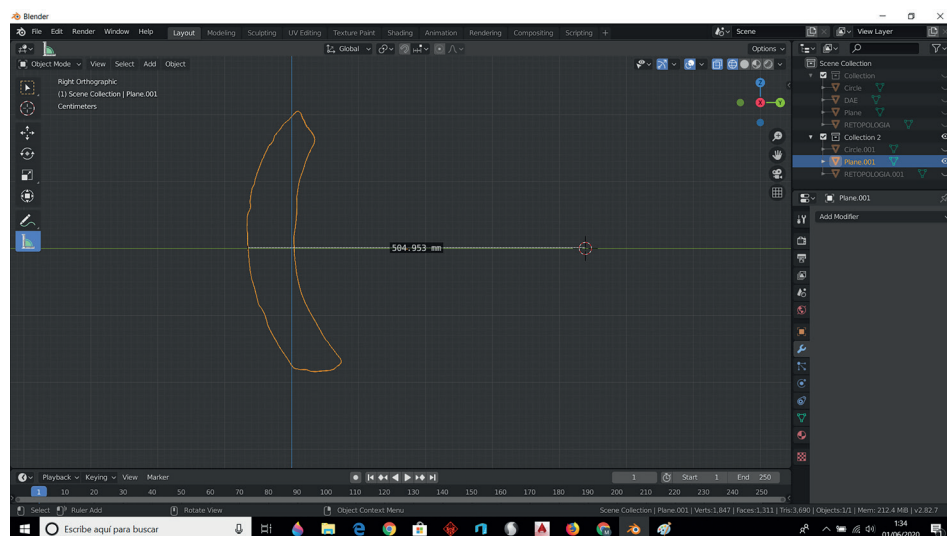
El arco de curvatura de máxima dimensión del fragmento corresponde al un círculo aproximado de 50,5 mm de radio (Imagen15), es decir un diámetro aproximado de 11 cm, que nos informa sobre la dimensión del vaso.

**Imagen 15.** Ajuste de la curvatura y cálculo del radio de revolución externo.

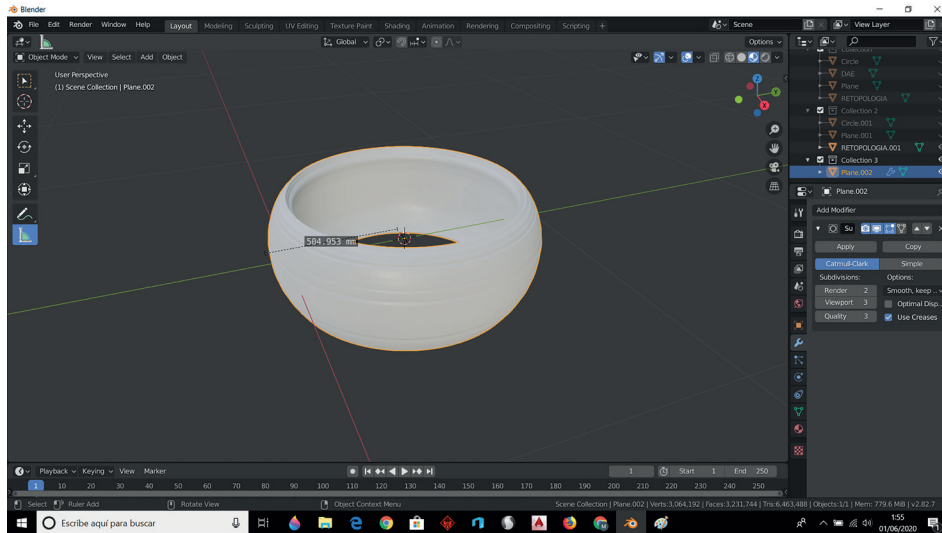


**Imagen 16.** Determinación de la sección vertical del fragmento.

Localizado el centro de curvatura nos disponemos a realizar un plano vertical radial que corte la máxima dimensión de la altura que ofrece el fragmento. La intersección del plano radial con el fragmento tiene como resultado las dimensiones de las paredes exterior e interior que definen al fragmento (Imagen 16). La rotación en torno al eje vertical situado en el centro proporcionará parte de la superficie del objeto.



Las dimensiones del objeto entorno a 10 cm de diámetro y la curvatura pronunciada del arco vertical del cuerpo establecen una forma globular de una tipología de pequeño tamaño (Imagen 17). Cotejando con la tipología de formas cerámicas contemplada para esta cronología, pocos modelos cumplen estas restricciones, entre ellas destaca por su similitud formal un conjunto de biberones depositados en el Museo Numantino del siglo III-II a.C (Imagen 18).



**Imagen 17.** Aplicación del modificador Screw para la obtención del volumen de revolución.

**Imagen 18.** Dibujo arqueológico de un biberón perteneciente al Museo numantino. Siglos III-II a.C.



## DIGITALIZACIÓN DE UN MODELO Y OBTENCIÓN DE SOPORTES DE EXPOSICIÓN, DE DEPÓSITO Y TRANSPORTE.

En los casos expuestos hasta ahora hemos presentado las posibilidades que nos ofrece la digitalización de los modelos para la creación de modelos virtuales o de volúmenes de reintegración mediante técnicas de modelado 3D. Se ha mencionado la cantidad y riqueza de documentación gráfica que podemos extraer. A continuación, vamos a recurrir a las técnicas de moldeo aplicadas a los modelos virtuales obtenidos para solucionar problemas que se dan en la manipulación de bienes culturales.

Las instituciones museísticas y titulares de colecciones en su actividad de conservación y de difusión (depósito, exposiciones permanentes, temporales, prestamos) requieren la necesidad de solucionar problemas concretos que surgen durante el almacenamiento o exposición de los bienes. Son problemas relacionados con la colocación, apoyo, depósito o sustentación de la pieza, es decir, la elección de la posición adecuada de reposo que elimine cualquier riesgo de deterioro y asegure su conservación. En concreto este riesgo se acentúa con los objetos carentes de estabilidad o con peculiaridades materiales cuyas características no permiten ningún tipo de contacto con la superficie.

Vamos a aplicar principios fundamentales de la técnica escultórica de moldeo para intentar aportar soluciones a los inconvenientes descritos.

El molde o *negativo* resulta de un registro, del modelo o *positivo*. Si físicamente podemos realizar el molde que nos permite realizar reproducciones, réplicas o facsímiles. Las distintas aplicaciones CAD de modelado 3D nos ofrecen las mismas posibilidades. Esto llevado al campo de la conservación, y en concreto al campo de la conservación preventiva, directamente relacionado con la manipulación de los bienes culturales, nos va a permitir diseñar y realizar distintos tipos de elementos auxiliares que nos faciliten la labor de mantenimiento.

En nuestro caso hemos utilizado el programa de modelado 3D Blender para generar modelos, negativos del original, de los soportes mencionados aplicando distintos modificadores que nos ofrece el software: *Boolean*, *Shrinkwrap*, *Subdivisión Surface*, etc. Todos ellos permiten obtener una envoltura precisa del modelo, a partir de la cual podemos diseñar una multitud de elementos auxiliares.

Podremos diseñar un embalaje o soporte de transporte (Imagen 19), es decir un negativo del objeto que asegure su conservación; diseñar un soporte de depósito, que establezca facilite su almacenamiento; y diseñar un soporte de exposición (Oliva Puertas, 2013), que nos facilite transmitir toda la información posible del objeto. Todos ellos elementos que siempre están en íntima relación con el objeto (Imagen 20).



**Imagen 19.** Diseño de un soporte de depósito o transporte.

**Imagen 20.** Diseño de un soporte de exposición para un Chopper.



## CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Como primera observación hay que decir que las nuevas tecnologías no suplen o eliminan el uso y olvido de técnicas tradicionales, al contrario, enriquecen las posibilidades de actuación en intervenciones de documentación, conservación, y restauración, además nos permite la obtención de resultados fácilmente reproducibles y de fácil difusión. De esta forma dan solución a uno de los objetivos de esta asignatura, la realización de réplicas o facsímiles de bienes culturales.

Sorprende como las técnicas de análisis físico tienen la capacidad de generar tanta información cuando se aplican en un campo de estudio. Aplicado a la conservación de los bienes culturales obtenemos un

profundo conocimiento del modelo obtenido en el registro, y una capacidad operativa a partir de los recursos informáticos que nos permite obtener un producto que admite la aplicación de las mismas técnicas artísticas que podemos encontrar en los bienes culturales: técnicas escultóricas como modelado, talla, moldeado y; técnicas pictóricas, de imagen y textura.

También tenemos que resaltar, un aspecto ya mencionado, que ofrecen algo fundamental como es reducir el tiempo de manipulación del bien cultural en muchas de las intervenciones de estudio, documentación gráfica, diagnóstico de deterioro y otras intervenciones realizadas en el proceso de conservación y restauración. Manipulación que normalmente relacionamos directamente con el riesgo de deterioro y es objeto de estudio en el campo de la conservación preventiva.

El resultado es que estos modelos virtuales pueden ser realizados de forma real mediante distintas técnicas de impresión 3D aditivas o sustractivas, técnicas que merecen una continua exploración por las posibilidades de aplicación en el campo de la conservación de nuestro patrimonio. Continuamente se va incorporando nuevas técnicas de obtención de modelos tridimensionales y nuevos materiales que se adaptan a estas nuevas tecnologías. La obtención de diseños físicos, sean réplicas o elementos auxiliares acude en ayuda en la protección y difusión de nuestra cultura material.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almagro Gorbea, A. (2019). Medio siglo documentando el patrimonio arquitectónico. *EGE - Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 11: 1-30.

Arlegui Sánchez, M. (2014). Conjunto de vajilla cerámica. *Guía Museo Numantino* (pp. 134-135). Consejería de Cultura y Bienestar Social.

*Blender 2.81* (s.f.). Recuperado el 11 de 10 de 2019, de <https://www.blender.org/download/releases/2-81/>

Caballero, L.; Arce, F. y Feijoo, S. (1996). Fotogrametría y el análisis arqueológico. *Revista de Arqueología*, 186: 14-25.

Caro, J.L. y Hansen, S. (2015). De la fotogrametría a la difusión del patrimonio arqueológico. *Virtual Archaeology Review*, 6 (12): 58-68.

DECRETO 33/2011, de 2 de junio, del Consejo de Gobierno, por el que se establece el Plan de Estudios para la Comunidad de Madrid de las enseñanzas artísticas superiores de Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. BOCM de 14 de junio de 2011.

De Reu, J.; Plets, G.; Verhoeven, G.; De Smedt, P.; Bats, M.; Cherretté, B.; De Maeyer, W.; Deconynck, J.; Herremans, D.; Laloo, P.; Van Meirvenne, M. y De Clercq, W. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40 (2): 1108-1121.

Diaz Vargas, J. A. (2020). *Escáner 3D & escultura* Independiente.

Gea García, Á.; Acáz Mendive R.; y Segoviano Lorenzo, G. (2008). La reintegración material en las cerámicas arqueológicas: utilización de la resina Epoxi. *PÁTINA*, 15: 5-32.

ICOMOS. (2011). Fórum Internacional de Arqueología. *Principios de Sevilla. Principios internacionales de la Arqueología Virtual*. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

Karl, S.; Jungblut, D.; Mara, H.; Wittum, G. y Krömker, S. (January, 2014). Insights into manufacturing techniques of archaeological pottery: Industrial X-ray computed tomography as a tool in the examination of cultural material. En Martín-Torres, M. (Ed.), *Craft and science: International perspectives on archaeological ceramics, UCL Qatar Series in Archaeology and Cultural Heritage 1* (pp. 253-262). Bloomsbury Qatar Foundation. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/269705548>

*Domus Magazine* (30 de septiembre, 2016). Datareality. Interview with Adam Lowe. *Fitch Colloquium at Columbia University Graduate School of Architecture* (GSAPP). Recuperado de [https://www.factum-arte.com/resources/files/fa/texts/2016/fitch\\_colloquium\\_datareality\\_AL\\_final.pdf](https://www.factum-arte.com/resources/files/fa/texts/2016/fitch_colloquium_datareality_AL_final.pdf)

López-Menchero Bendicho, V. M. y Grande, A. (2011). Hacia una Carta Internacional de Arqueología Virtual. *Virtual Archaeologic Review*, 2 (4): 71-75.



Lowe, A. (7 de septiembre, 2015). Can 3d recording help preserve threatened sites in Syria and Iraq? *Apollo. The International Art Magazine*, September 2015. Recuperado de <https://www.apollo-magazine.com/can-3d-recording-help-preserve-threatened-sites-syria-iraq/>

Maldonado Ruiz, A. (2020). *La aplicación de la fotogrametría (SFM) y las nuevas tecnologías para la mejora de la documentación, difusión y divulgación del patrimonio arqueológico*. Tesis doctoral, Universidad de Granada. Recuperado de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/62261>

Martínez García, M. (2018). Texturas procedurales o de imagen (coordinadas UV). En *Introducción a Blender 2.79. Aplicado a la conservación y restauración de bienes culturales. Curso de formación de la ESCRBC*, 16 de octubre-18 de diciembre de 2018.

Oliva Puertas, M. (2019). *Manipulación, almacenamiento y montaje de colecciones de museos*. Madrid: Museo Nacional del Prado.

Oliva Puertas, M. (2013). Soportes individuales en la exposición de bienes culturales. *Frágil. Curso sobre manipulación de bienes culturales* (pp. 106-119). Secretaría General Técnica, Subdirección General de Documentación y Publicaciones, MECD.

Parceró Oubiña, C.; Méndez Fernández, F. y Blanco Rotea, R. (1999). La documentación gráfica. En *CAPA 9. El Registro de la Información en Intervenciones Arqueológicas* (pp. 24-28). Universidad de Santiago de Compostela.

Pavlidis, G.; Koutsoudis, A.; Arnaoutoglou, F.; Tsioukas, V. y Chamzas, C. (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(1): 93-98.

Ramos, M.L. (2008). Terracotas y elementos de coroplastia. En Bernal Casasola, D. y Ribera i Lacomba, A. (coords.), *Cerámicas hispanorromanas. Un estado de la cuestión* (pp. 775-786). Universidad de Cádiz, Servicio de Publicaciones.

Stovel, H. (2003). *Preparación ante el riesgo: Un manual para el manejo del Patrimonio Cultural Mundial*. ICCROM, UNESCO-WHC, ICOMOS.

Uhlenbrock, J. P. (1989). Concerning Some Archaic Terracotta Protomai from Naxos. *Xenia. Rivista semestrale di antichità*, 18: 9-23.