



## RESTAURACIÓN DE VIDRIO ARQUEOLÓGICO: RECONSTRUCCIÓN DE FRAGMENTOS FALTANTES MEDIANTE MODELADO E IMPRESIÓN 3D

### RESTORATION OF ARCHAEOLOGICAL GLASS: RECONSTRUCTION OF GAP AREAS USING 3D MODELLING AND PRINTING TECHNIQUES

Carmen Díaz-Marín\*, Elvira Aura-Castro

Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España. [madiama@posgrado.upv.es](mailto:madiama@posgrado.upv.es); [aura@crbc.upv.es](mailto:aura@crbc.upv.es)

#### Abstract:

This paper aims the development of the restoration of archaeological glass vessels through 3D modelling and printing techniques of gap areas to aesthetic or reinforcement reasons. Usual reconstruction of gap areas in archaeological glass involves a handmade process that is notoriously complicated and requires a lot of time and patience, also it is common that glass is exposed to a high risk of deterioration due to its fragile and delicate condition. To deal with this problem, in which the risk of damage intensifies when the restoration is undertaken, a non-invasive method to recuperate its losses by 3D virtual modelling and printing techniques is presented. Application of this method avoids manipulation of archaeological objects during reconstruction of its gap areas and also it is an alternative treatment that it is advantageous in this sense.

**Key words:** archaeological glass, 3D reconstruction, 3D modelling, 3D printing, restoration

#### Resumen:

En este artículo se presenta el desarrollo de la restauración de recipientes de vidrio arqueológico mediante la técnica de modelado e impresión en 3D de sus zonas faltantes con el objetivo de recuperar su estética o reforzarlo. La reconstrucción de faltantes de vidrio arqueológico habitualmente implica un proceso manual caracterizado por ser una tarea laboriosa y difícil donde frecuentemente el vidrio queda expuesto a un gran riesgo de deterioro por su fragilidad intrínseca y su delicado estado de conservación. Ante esta problemática, en la que el riesgo de deterioro se intensifica cuando se acomete la restauración directa, se propone un método de restauración no invasivo para recuperar las áreas faltantes en vidrio arqueológico mediante modelado virtual e impresión 3D de las mismas. Con la aplicación de este método se ha conseguido evitar la manipulación de los objetos arqueológicos durante la fase de reconstrucción volumétrica permitiendo un tratamiento alternativo que resulta ventajoso en este sentido.

**Palabras clave:** vidrio arqueológico, reconstrucción 3D, modelado 3D, impresora 3D, restauración

### 1. Introducción

Una gran parte del vidrio arqueológico exhumado presenta un deterioro característico con indicadores claros de las condiciones de elevada humedad con la que ha interactuado durante años. Su extracción conlleva una rápida deshidratación del material provocando pérdida de transparencia, iridiscencia y desprendimientos de la superficie material (Navarro 1999). También es frecuente la observación de fragmentaciones en el objeto que pueden dar lugar a áreas correspondientes a fragmentos no encontrados, denominadas áreas de fragmentos faltantes. Esas zonas pueden recuperarse a través de las reconstrucciones volumétricas que consisten en volcar resinas translúcidas o transparentes dentro de unos

moldes que reproducen el hueco de las áreas que faltan.

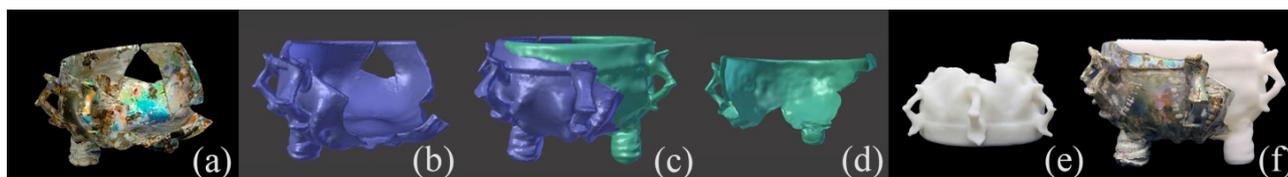
Este tipo de reconstrucción implica procesos manuales caracterizados por constituir tareas laboriosas, a menudo difíciles en la que, de manera frecuente, el vidrio queda expuesto a un gran riesgo de deterioro por su fragilidad intrínseca y su delicado estado. Ante esta problemática se propone un método de restauración no invasivo al llevar a cabo el modelado digital en 3D de las áreas faltantes y la impresión de estos implantes. De este modo se intenta someter a la pieza original a la mínima manipulación reduciendo los procesos a los que es sometida puesto que se sustituye el objeto original por un modelo 3D con el que trabajar, evitando la manipulación excesiva que conllevan las reconstrucciones volumétricas.

\* Corresponding Author: Carmen Díaz Marín, [madiama@posgrado.upv.es](mailto:madiama@posgrado.upv.es)

El estudio de técnicas que potencialmente pueden sustituir a las tradicionales va en aumento constituyendo una opción que debe ser investigada.

## 2. Proceso

El proceso propuesto se inicia una vez que la pieza seleccionada ha sido estabilizada durante la fase de intervención y todos los fragmentos han sido adheridos. Se ha optado por un cuenco de vidrio del siglo XVI-XVII del Museo de Cerámica de Manises. En la Figura 1 se muestran el proceso completo.



**Figura 1:** Imágenes que muestran el proceso propuesto. (a) objeto original, (b) modelo 3D del objeto, (c) modelo e implante 3D, (d) implante 3D, (e) Implante impreso y (f) objeto original con el implante.

El escaneado ha generado dos modelos (interior y exterior de la pieza), que hay que alinear y fusionar para obtener el modelo completo y posteriormente corregir las imperfecciones. El tiempo de trabajo de esta fase se ve reducido considerablemente por el resultado tan satisfactorio en la calidad de la malla obtenida con la ayuda del Ciclododecano.

A partir del modelo 3D del objeto se realiza el modelado del implante (zona faltante). En vez de modelar desde cero la zona faltante, hemos adaptado la parte que ya existía al área vacía. El proceso se realiza a partir del modelo 3D que importamos a MeshLab para extraer el implante y éste es importado a Blender para retocar el modelado y con la opción *Boolean (Diferencia)* que encontramos en la barra de *Propiedades* obtener el perfil de la fractura.

Una vez obtenido el implante se exporta en .stl para su impresión en 3D.

Por último, la impresión 3D se ha llevado a cabo utilizando una impresora 3D Mini Up! y filamento ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) de 1.75 mm que se funde y deposita sobre una plataforma precalentada (Modelado por Deposición Fundida). Este tipo de filamento es el termoplástico más utilizado en la impresión 3D. Es duro y rígido, presenta cierta resistencia química y a la abrasión aunque le afectan los rayos UV y es soluble en acetona (Shashoua 2009). En este caso se han utilizado dos tipos de ABS en blanco (*White*) y translúcido (*Clear*). La buena calidad de la impresión del implante se refleja en el resultado de la decoración exterior que posee la pieza.

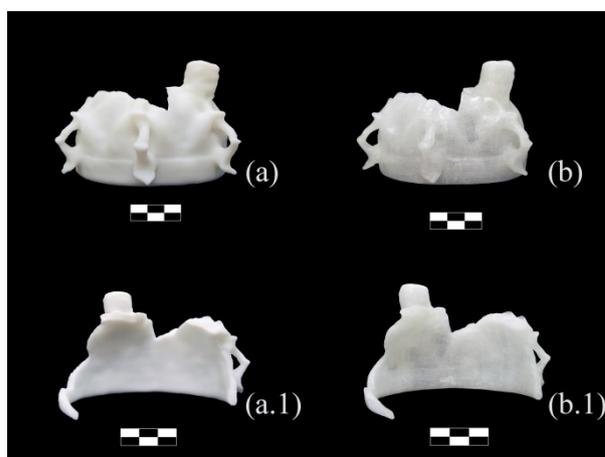
Durante el proceso de escaneado y optimización el modelo ha perdido un poco de precisión con respecto al original, esto provoca algunos errores en el acople entre el objeto y el implante que son corregidos tras la primera impresión y su prueba en el objeto original.

## 3. Resultados y Discusión

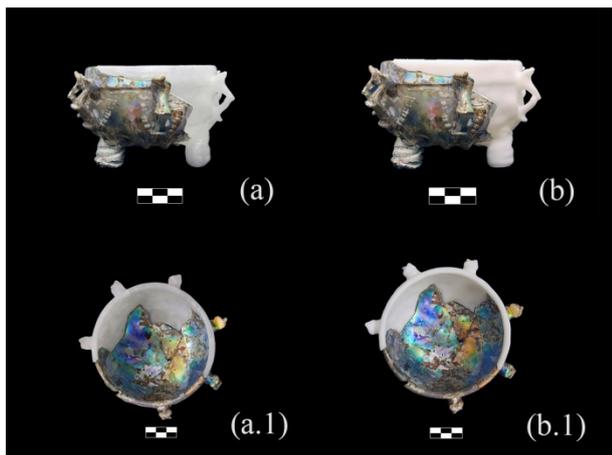
Tras el proceso explicado obtenemos el modelo 3D del objeto original, el modelo 3D del implante (Fig. 2) y las impresiones 3D. Las piezas impresas resultantes (Fig.

Para su adquisición se ha utilizado un escáner 3D Konica Minolta vivid 900. Para solucionar la incompatibilidad del sistema de registro que usa este tipo de escáner, con las superficies transparentes, refractivas/reflexivas o brillantes, se buscó una solución que ha permitido volver opaca la superficie del objeto temporalmente. Para ello se utilizó Ciclododecano en aerosol, una sustancia muy conocida y utilizada en el campo de la restauración, que crea una capa blanca opaca que se evapora a temperatura ambiente y no deja residuos. La bondad de este método ha quedado demostrado en Díaz *et al.* (2015).

3) son de dos colores, blanco y translúcido, donde tras un tratamiento superficial, a base de lijas y microtorno, se obtiene una superficie óptima para reintegrar cromáticamente. En cuanto al perfil de fractura de unión con la pieza original, se ha conseguido el acople óptimo a pesar de que en ciertas zonas del implante llegan a detectarse puntualmente ligeros desajustes en el material termoplástico. Estos implantes que sustituyen a las zonas perdidas han devuelto la estabilidad a la pieza y recrean la morfología original. Sin cubrir cromáticamente la superficie del implante, cada una de las opciones ofrece diferentes cualidades a valorar para seleccionar la más adecuada: en *White* las formas de la decoración se aprecian bien definidas, mientras que en *Clear* las formas se difuminan por el color del material. Tras el tratamiento superficial las dos opciones adquieren brillo y en el caso de *Clear* mayor grado de transparencia. Dependiendo del resultado que se quiera (con recubrimiento cromático o no) se aconseja un tipo u otro. De este modo, la opción *Clear* puede resultar idónea si se opta por no cubrir la superficie de color y aprovechar así el brillo de este material translúcido.



**Figura 2:** Implantes impresos. ABS Clear (a, a.1) y ABS White (b, b.1).



**Figura 3:** Resultado final con los dos filamentos: ABS Clear (a, a.1) y ABS White (b, b.1)

#### 4. Conclusiones

Se ha propuesto un método de restauración no invasivo al llevar a cabo el modelado digital en 3D de las áreas faltantes y la impresión de estos implantes en ABS para incorporarlos al vidrio arqueológico intervenido. Con este método se ha evitado la manipulación de los objetos arqueológicos durante la fase de reconstrucción

volumétrica permitiendo un tratamiento ventajoso que resulta viable. El resultado puede ser comparado al obtenido por métodos tradicionales pero difiere en la excesiva manipulación del objeto contribuyendo así a la preservación y salvaguarda del material recuperado. No se han encontrado diferencias significativas en cuanto a los resultados obtenidos con los dos tipos de filamentos utilizados.

#### Agradecimientos

El trabajo se ha desarrollado gracias al Programa del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 del Ministerio de Economía y Competitividad de España, Proyectos ID: HAR2012-38391-C02-01 and HAR2012-38391-C02-02. El trabajo también se ha desarrollado a través del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 del Ministerio de Economía y Competitividad de España con cofinanciación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), Proyecto HAR2015-69408-R (MINECO/FEDER). Los autores quieren agradecer la colaboración del Museo de Cerámica de Manises y especialmente a su directora Dña. Sara Blanes Ibáñez, por proporcionar la pieza usada para ilustrar la técnica propuesta.

#### Referencias

- DÍAZ, C., AURA, E., SÁNCHEZ, C. y VENDRELL, E., 2016. Cyclododecane as opacifier for digitalization of archaeological glass. *Journal of Cultural Heritage*, 17, pp. 131-140. DOI: 10.1016/j.culher.2015.06.003
- NAVARRO, J.M.F., 1999. Causas del deterioro físico y químico de los vidrios históricos. En: *Jornadas Nacionales sobre Restauración y Conservación de Vidrios*. 3ª ed. Segovia: Fundación Centro Nacional del Vidrio, pp. 17-37.
- SHASHOUA, Y., 2009. *Conservation of plastics : materials science, degradation and preservation*. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann.