

# **Cerámica y Arqueología Virtual. Hacia nuevos modelos de representación**

**Ceramics and Virtual Archaeology. Towards new models of pottery representation**

**Alexis Maldonado Ruiz\***

\*Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Granada.

[amaru@ugr.es](mailto:amaru@ugr.es)

**Alberto Dorado Alejos\***

\*Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Granada.

[doradoalejos@ugr.es](mailto:doradoalejos@ugr.es)

**Resumen:** La incorporación de nuevas tecnologías en Arqueología es una realidad cada vez más frecuente. Un ejemplo de ello son las innovaciones aportadas desde el marco de la divulgación científica, un área que, con demasiada frecuencia, queda recluida a una segunda posición en el ámbito académico actual. No obstante, y debido al fuerte carácter documental de la Arqueología y la Historia, sustento mismo de su base empírica y a partir de la cual se genera el discurso histórico, es necesario innovar en las formas de representación gráfica con el fin de responder a las necesidades actuales de la investigación. En nuestro caso, consideramos que la incorporación de herramientas informáticas cada vez más completas y complejas ha supuesto un importante aliciente al desarrollo de nuevas y cada vez más precisas formas de representación y difusión del patrimonio. Si bien es cierto, en el estado actual de la investigación es importante la optimización de recursos económicos de modo que, con la menor inversión de capital humano y de infraestructuras, se puedan obtener importantes bases documentales que constituyan una de las partes del registro arqueológico. Por ello, en el presente artículo se valorará las ventajas y desventajas de dos técnicas de representación cerámica –técnicas 2D de montaje digital y técnicas de representación 3D– que, a nuestro juicio, resultan de gran interés por su bajo coste y por su alta capacidad expositiva.

**Palabras Clave:** Arqueología Virtual; Reconstrucción 3D; Fotogrametría (SfM); Patrimonio cultural; Representación Cerámica.

**Abstract:** The incorporation of new technologies in Archeology is so frequent nowadays. An example is the innovations provided by the scientific dissemination, an area that is too often confined to a second position in the current academic world. However, the strong documentary nature of Archeology and History, support of its empirical base and where the historical discourse is generated, is necessary to innovate in the forms of graphic representation in order to respond to the current needs of research. We consider that the incorporation of new computational tools has been an important incentive to the development of new and increasingly accurate forms of representation and

dissemination of heritage. In addition, in the current state of research, is important to optimize economic resources so that, with the lower investment of human capital and infrastructures, important documentary bases can be obtained in order to constitute one of the parts of the archaeological record. For all these reasons, in this paper we will evaluate the advantages and disadvantages of two techniques of ceramic representation –2D digital assembly techniques and 3D rendering techniques–, in our opinion, are of great interest because of their low cost and their powerful exposition capacity.

**Keywords:** Virtual Archaeology; 3D Reconstruction; Photogrammetry (SfM); Cultural Heritage; Pottery representation.

## 1. Introducción

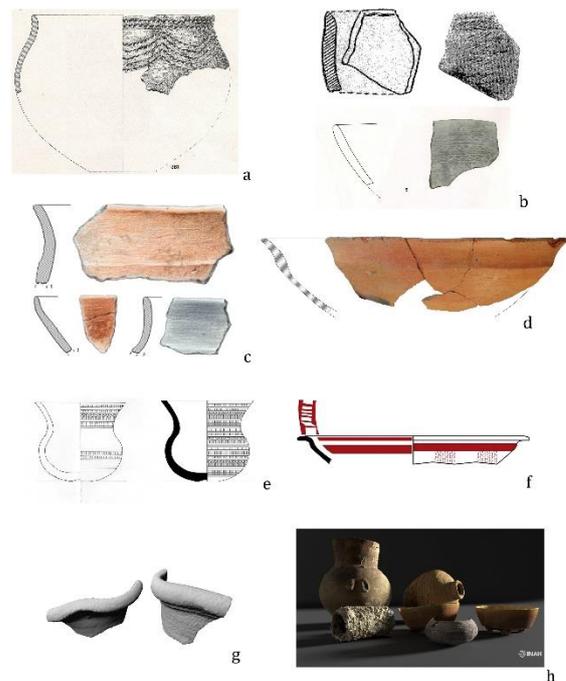
A pesar de que existe una extensa bibliografía sobre el modo y la forma en que tienen que representarse los artefactos obtenidos en el proceso de intervención arqueológica, actualmente sólo existen ciertos rasgos comunes, que podríamos definir como convencionales, que son seguidos en la representación de cerámicas para su publicación lo que, finalmente, deviene en la aparición de diferentes vías o técnicas a la hora de ilustrar el patrimonio tangible. Aunque todas ellas comparten un objetivo común, varían sustancialmente en el desarrollo que lleva a su consecución. No son pocos los autores que han realizado manuales con el fin de bosquejar los pasos a seguir para el desarrollo de las ilustraciones cerámicas (Cuesta y Bardet 1990; Leonardi y Penello 1991; Bagot 1999; Domingo *et al.* 2007; Estravis 2008), aunque parece claro que cada grupo de investigación sigue unas pautas generales con ciertas variaciones. En este sentido podemos ver un patrón claro: a la izquierda se disponen generalmente los perfiles y, a la derecha, se reproduce el fragmento cerámico. Cuando las piezas son completas este mismo esquema se repite con la reproducción de la vasija según sus características métricas. Así, se observa entonces que la divergencia surge en el modo en que se realizan estas reproducciones.

Dentro de las posibles ventajas y desventajas inherentes a cada una de ellas es preciso analizar la variable Tiempo Invertido-Resultado Obtenido cuando se planifica un trabajo de estas características. Y es que, efectivamente, si en nuestra disciplina el tiempo de realización de los trabajos es un factor determinante aún lo es más la ilustración de los artefactos y ecofactos recuperados en el decurso de las actividades arqueológicas. De este modo, existen técnicas de representación gráfica que proporcionan resultados óptimos con una mínima inversión de tiempo. Figuras bastante esquemáticas pero que permiten observar atributos como forma, tonalidades originales e incluso las características tecnológicas más básicas del elemento representado (p. ej. producción mano o producción torno). De modo que, así como el avance de la Arqueológica ha estado desde sus inicios ligada a otras disciplinas -como la Geología o la Zoología- la forma en que la cerámica se ha venido representando también ha cambiado gracias al propio desarrollo de las técnicas del registro, como por ejemplo los cambios asociados a las cámaras fotográficas, pasando del blanco y negro al color. Con todo, en las próximas líneas analizaremos dos de las técnicas con mayor potencial en la disciplina arqueológica y que, consideramos, terminarán por sustituir a los tradicionales dibujos realizados a mano, como son: el montaje digital en 2D y las técnicas de representación 3D.

## 2. Antecedentes

Aunque somos conscientes de que sólo este apartado podría suponer un trabajo de revisión en sí mismo, consideramos oportuno acercarnos a algunas de las formas más comunes de realizar las representaciones de artefactos de origen arqueológico, la cerámica en el caso que nos ocupa. Y es que, todo tiene sus inicios. La primera fase, que llega hasta nuestros días, sería aquella que en la que los dibujos se realizan con tinta china y carbocillo (fig. 1 a), siendo hasta el momento la más extendida. Sin embargo, en los últimos años ésta va retrocediendo como consecuencia de la implementación de nuevas técnicas, algunas de las cuales veremos más adelante.

Una segunda fase, más reciente, sería la propuesta que realiza el Grupo de Investigación HUM-143-Grupo Interdisciplinar de las Ciencias y Humanidades de la Universidad de Granada (fig. 1 c), el cual viene publicando una serie de trabajos en el que aplica el Hiperrealismo a sus dibujos (pastel, acrílico y acuarela) con resultados de gran impacto visual que hacen de sus trabajos ejemplares en la exposición de la base empírica (p. ej. Pachón *et al.* 2013; Carrasco *et al.* 2014, 2015). A diferencia de los trabajos realizados a tinta china y carbocillo, estos trabajos suponen un cambio ya que muestran las tonalidades de las vasijas, así como ciertos trazos que refieren a sus características tecnológicas, algo que, sin duda, reporta nueva información al lector respecto a la fase previa.



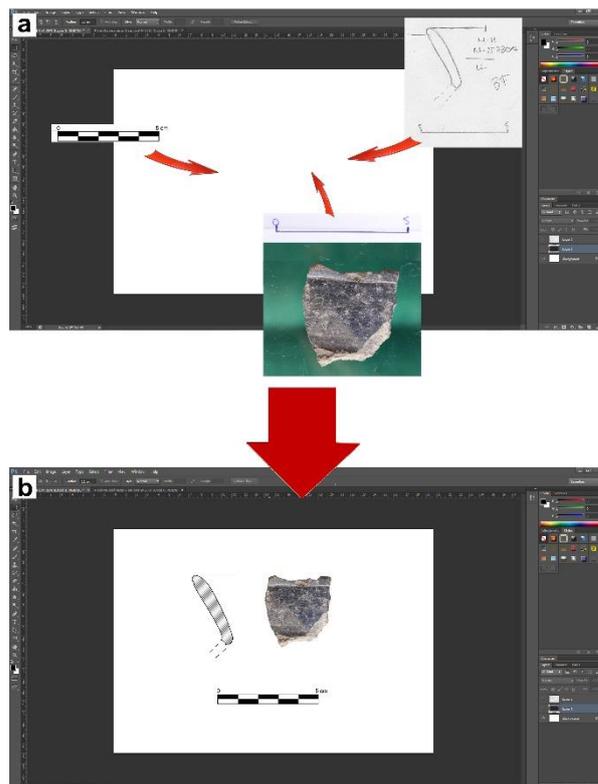
**Figura 1:** Algunas de las formas de representación cerámica más habituales según se han recogido de publicaciones especializadas: a) Molina 1976: Lám. LI-381; b) modificada de Cabré 1930: Lám. XIV-3; c) Pachón *et al.* 2013: 65, fig. 4.1-3; d) Dorado 2019; e-f) Moreno y Quixal 2012-13: 208-209, figs. 7 y 9; g) Karasik y Smilansky 2008: 1159, fig. 15; h) Maldonado 2018: fig. 5).

Una tercera fase vendría definida por la sustitución del dibujo artístico, tanto a carbocillo y tinta china, como a pastel, acrílico y acuarela por el uso de la fotografía. Los referentes previos a esta técnica los encontramos en aquellos trabajos donde el perfil de la pieza se acompañaba por una fotografía recortada del fragmento, como por ejemplo hicieron J. Cabré (1930, 1932) o E. Fresneda (1980) (fig. 1 b). De tal modo, podríamos decir que la técnica actual es una derivación y actualización de aquélla con la que, gracias a las aplicaciones informáticas y la fotografía digital, se pueden realizar montajes con una buena exposición de los datos y a color (Fig. 1 d) (p. ej. Dorado 2012). Con ello, podemos reflejar aspectos que refieren a la decoración, la cocción o los tratamientos de superficie y que, mediante las técnicas anteriores, no eran perceptibles por el

receptor de la información. Más adelante veremos qué pasos seguir para realizar estas figuras.

Más recientemente situamos aquellos trabajos en los que la reproducción de la pieza es completamente digital y se genera a partir de la vectorización de todas sus partes, desde el propio perfil a la decoración (Moreno y Quixal 2012-13). No obstante, consideramos que los esfuerzos que requiere -y los resultados que reporta- son insuficientes por no reflejar aspectos referentes a las características técnicas de las vasijas (fig. 1 e-f).

Por último, encontramos también trabajos que a partir del fragmento reproducen la pieza completa (fig. 1 h). De esta forma, mediante la rotación del eje radial de la vasija, y pudiéndose aplicar posteriormente (de forma manual o automatizada) una textura fotorrealista (Kampel y Sablatnig, 2002; Melero *et al.* 2003, 2004), se generan modelos 3D de gran realismo y precisión geométrica. Sin embargo, a pesar del potencial divulgativo e investigador que sendas técnicas poseen (Maldonado 2018), consideramos que los costes en tiempo que conlleva su realización son elevados de cara a afrontar el trabajo de un conjunto de piezas amplio.



**Figura 2.** a) Fase inicial del montaje fotográfico en el que se unen los diversos elementos que van a configurar la imagen, y; b) Resultado final del montaje fotográfico para la realización de las figuras en 2D.

### 3. Algunas consideraciones en torno a las técnicas 2D y 3D

A continuación, trataremos de comparar dos de las técnicas con mayor proyección para la representación de artefactos cerámicos de modo que sean perceptibles algunos de sus atributos más significativos. Estas dos técnicas vienen aplicándose desde hace ya algún tiempo por los distintos grupos de investigación de Prehistoria y Arqueología de distintas universidades españolas. Ambas metodologías proporcionan un aparato gráfico de calidad que permite un acercamiento desde una óptica más real y con un nivel de detalle superior al de las técnicas tradicionales sobre artefactos arqueológicos de distinta naturaleza. Su uso ha permitido obtener un análisis más detallado de la pieza (incluso sin tener la pieza física) y, en consecuencia, favorecen una mejor

interpretación ulterior de los datos por parte del receptor de la información.

### 3.1. Flujo de trabajo de técnicas 2D de montaje digital

Se trata de una técnica de montaje digital no tridimensional que combina la técnica de dibujo tradicional con herramientas informáticas de diseño y edición fotográfica. De este modo, el perfil de la vasija se extrae mediante las técnicas tradicionales, siendo posteriormente digitalizado e integrado de forma conjunta con una fotografía real del elemento arqueológico que deseamos representar. Todo este proceso de composición digital se puede llevar a cabo mediante programas como Adobe Photoshop, un software comercial no gratuito, o GIMP, en el caso de querer emplear herramientas *Open Source*. Este flujo de trabajo arranca, en primer lugar, abriendo un nuevo documento adaptado a las dimensiones de la pieza (A3/A4) y aplicándole una resolución de 350 pp, y un modo color RGB a 16 bits. A esta hoja le añadimos la fotografía de la vasija, la escala digital (que previamente hemos realizado) y el perfil de la pieza (fig. 2 a). Ajustamos todas las escalas a 1:1 con el fin de que los elementos que van a conformar el dibujo se encuentren con las dimensiones reales.

Una vez hecho esto, comenzamos a vectorizar el perfil de la pieza a partir del escaneo previo, eliminando éste una vez hayamos concluido. Este vector servirá para digitalizar el perfil, el cual utiliza un pincel con un ancho de 3 píxel (según se deriva de nuestra experiencia). Para aquellas piezas de las que conocemos el diámetro añadimos al borde una línea horizontal, también de 3 píxel de grosor y una vertical en su radio. El perfil recién hecho, que situaremos al lado izquierdo, se copia, voltea y se pega en el extremo derecho de la línea que marca las dimensiones de la pieza. Seguidamente, borramos la línea interna del

perfil para dejar únicamente marcada la cara externa. Cuando no es posible hallar el diámetro, pero la pieza sí que posee el borde, este paso no es necesario. En este caso, simplemente realizaremos una pequeña línea horizontal.

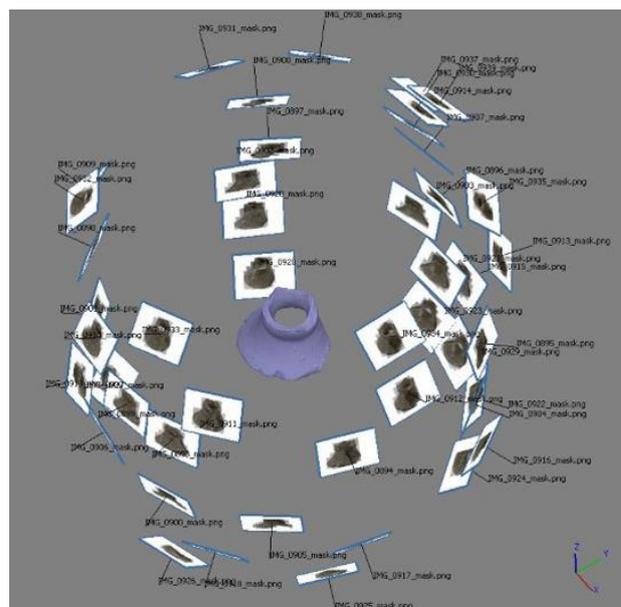
Posteriormente, añadiremos la fotografía a este esqueleto que previamente hemos conformado. Para ello eliminamos el fondo de la imagen y tomamos únicamente la fotografía del fragmento/vasija junto a la escala que acompaña a las piezas. Así, añadimos la pieza a esta plantilla prediseñada donde se encuentran representados los límites de la vasija. Para realizar este paso correctamente y con la mayor precisión posible es necesario eliminar el fondo de la pieza fotografiada mediante una máscara de capa. Una vez pegada sobre el dibujo se acoplan los elementos a escala 1:1 y se colocan del siguiente modo: fotografía a la derecha y escala bajo la línea vertical que marca el radio de la pieza. En ocasiones las dimensiones de la pieza que superan las dimensiones de las que disponemos y no pueden representarse en un dibujo de dos dimensiones (por ejemplo, en aquellos casos en los que la vasija posee más de un cuarto del total de la misma). Para estos casos será necesario recortar la parte sobrante. Otra opción, a la que hemos recurrido en algunos casos, sería la de acompañar la fotografía completa de la pieza junto al perfil y su radio, de modo que no se pierda información alguna.

Un paso previo al guardado, es la aplicación de una trama que rellene el perfil. A este respecto tampoco parece haber mucho consenso pues vemos cómo los perfiles se rellenan en ciertas publicaciones con un sólido negro (generalmente en las escuelas de Arqueología Clásica) e incluso rellenas con las fotografías de los perfiles previamente obtenidas mediante lupa estereoscópica (Sanna 2015), lo que

supone una idea bastante innovadora al incluir dos tipos de información bastante distinta: matriz y superficie. Otra opción es utilizar una trama transparente de líneas oblicuas orientadas a 45° (generalmente en escuelas de Prehistoria Reciente) (fig. 2 b).

### 3.2. Flujo de trabajo de técnicas de representación 3D

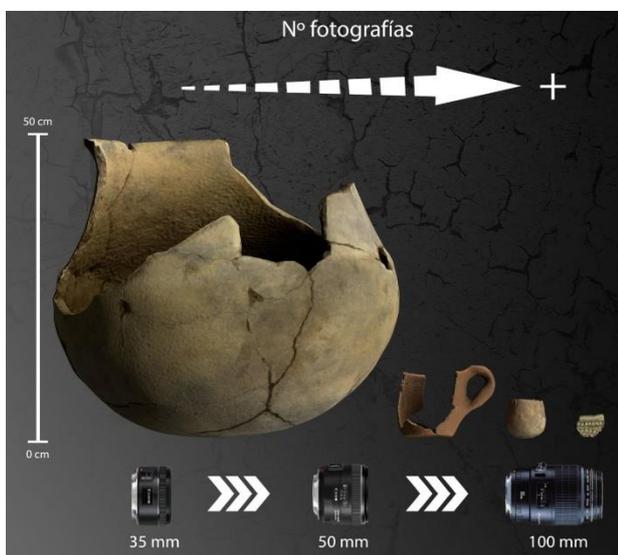
La siguiente técnica que analizaremos se enmarca dentro de una dinámica de trabajo que ha ido optimizándose con el paso de los años gracias, principalmente, a la aparición de *softwares* y *hardwares* cada vez más potentes, así como a la creciente generalización de bibliografía específica sobre el tema (Cosmas *et al.* 2003; Melero *et al.* 2003; Melero *et al.* 2004; Bruno *et al.* 2010; Pereira 2013; Barreau *et al.* 2014; McCarthy 2014; Remondino 2014; Aparicio y Figueredo 2016; Garstki 2017; Maldonado 2018, 2019). En conjunto, el proceso es una compleja combinación de diferentes *softwares* de diseño 2D y edición fotográfica (*Adobe Photoshop*, *Adobe Lightroom*), fotogrametría (*Agisoft Metashape*), modelado 3D (*Blender*, *Z-Brush*, *Meshlab*, *Instant Meshes*). Se pretende generar modelos 3D idénticos al objeto real pero localizados en un entorno totalmente digital. De esta forma, podemos obtener renderizados realistas con un alto nivel de detalle, sin aberración de lente y evitando además una excesiva manipulación de la pieza real.



**Figura 3.** Malla geométrica digital de una de las piezas cerámicas junto con las fotografías a partir de las cuales se ha generado el modelo fotogramétrico.

El proceso se inicia con la captura de los datos necesarios para producir un modelo tridimensional con precisión submilimétrica. En el caso de la fotogrametría basada en el *Structure from Motion* (SfM) se restringe, casi exclusivamente, a una adecuada toma de fotografías (fig. 3). Por consiguiente, en un trabajo fotogramétrico de laboratorio es importantísimo controlar correctamente tanto la iluminación como los parámetros de disparo de nuestra cámara. En nuestro caso, empleamos la Canon EOS 600D y ajustamos la elección del objetivo dependiendo de las dimensiones de las piezas a escanear. Tal y como se detalla en la infografía, un focal fijo Yongnuo de 35 mm para los elementos de gran tamaño, el objetivo Canon estándar de 18-55 mm para piezas medianas y un macro Canon de 100 mm para aquellos objetos de menores dimensiones (fig. 4). En cualquier caso, tanto la cámara como el objetivo deben ir montados sobre un trípode que garantice la nitidez de la fotografía y poder emplear así velocidades de disparo lentas que compensen una apertura del obturador mínima y una sensibilidad *ISO* igualmente baja (*ISO* 100, *f*/22, 1.6"). Del mismo modo, el uso de una caja de luz y un

sistema de iluminación básico de tres focos permite crear un ambiente de luz controlado donde eliminar sombras o brillos indeseados. Adicionalmente, y con el objetivo de perder la mínima información posible, pero intentando siempre optimizar al máximo todo el procedimiento, establecimos un margen aceptable de entre 50 y 70 disparos para piezas de tamaño mediano-grande, siempre en formatos editables tipo *raw* (.crw/ .cr2). Este margen puede verse incrementado al trabajar con piezas de pequeño tamaño y/o de geometrías muy complejas, donde barajamos cifras de entre 100 y 120 fotografías.



**Figura 4.** Comparativa de objetivo focal necesario para la realización de un modelo fotogramétrico según el tamaño del artefacto cerámico y sus elementos decorativos.

Una vez realizadas las fotografías, empleamos programas de edición fotográfica como Adobe Lightroom. Con ello, conseguimos dar el formato correcto (.jpeg) a cada imagen y corregir posibles errores. Del mismo modo, el uso de *Adobe Photoshop* es interesante a la hora de crear máscaras de capa individuales imprescindibles a la hora de agilizar el proceso fotogramétrico posterior u obtener réplicas 3D mucho más precisas.

Hasta aquí hemos podido ver cuál es el proceso de captura y tratamiento previo de los datos

que posteriormente utilizaremos para generar nuestras réplicas tridimensionales. El modelo 3D propiamente dicho se genera a partir de *Agisoft Metashape*, una herramienta fotogramétrica potente y estable que permite la creación de modelos tridimensionales de manera semi-automatizada. En este punto, el modelo generado por *Agisoft Metashape*, correctamente escalado y orientado se exporta a formatos *.obj* o *.ply* con el objetivo de maximizar su compatibilidad y facilitar así su traslado e importación a programas de modelado 3D.

Para el post-procesado de los modelos y la producción de los renderizados finales usamos principalmente Blender y su motor de renderizado *Cycles*. Mediante la aplicación de este software, así como de una consulta bibliográfica específica y rigurosa, también es posible llevar a cabo restituciones digitales totales o parciales de las piezas. Conjuntamente a las tareas propias de restauración digital, es importante fijar una línea de optimización coherente. Esto es, lo que en Arqueología Virtual conocemos como retopología. En definitiva, una serie de procedimientos que nos permiten reestructurar la malla geométrica de nuestros modelos fotogramétricos y obtener objetos tridimensionales menos pesados pero que mantienen una calidad y resolución altas. Esto se traduce en unos materiales virtuales más fácilmente almacenables y divulgables.



**Figura 5.** Diferentes fases del proceso de creación del modelo 3D reconstruido del soporte del Bronce Final del Sudeste localizado en el yacimiento del Cerro de la Encina (Monachil, Granada).

El último paso de todo este procedimiento trata de la difusión de los propios resultados. Sin duda, aquí reside uno de los principales atractivos de estas nuevas herramientas. La representación a partir de renderizados fotorrealistas sin ningún tipo de distorsión, puede verse potenciada mediante el empleo de plataformas de visualización online como es el caso de *Sketchfab* o similares (Scopigno *et al.* 2017; Statham 2019). En este tipo de repositorios virtuales podemos acceder a un material interactivo sin la necesidad de instalar ningún tipo de software en nuestro ordenador o *smartphone*, algo que resulta ser

especialmente útil cara a la representación gráfica y a la propia difusión de los resultados.

Llegados a este punto y con el objetivo de superar la bidimensionalidad inherente en publicaciones impresas (libros o revistas) proponemos la inclusión en las infografías de códigos QR que puedan ser escaneados directamente mediante dispositivos móviles con aplicaciones gratuitas y fácilmente accesibles (figs. 6, 7, 8 y 9) (Maldonado 2019), de modo que un simple gesto nos permita acceder a modelos tridimensionales interactivos alojados en las diversas plataformas online.

#### 4. Discusión y evaluación de ventajas y desventajas

A fin de garantizar una comparación lo más transparente posible entre las dos técnicas anteriormente descritas, se decidió seleccionar un conjunto de cuatro piezas cerámicas de características tipológicas diferentes (Figs. 6, 7, 8 y 9). Sobre ellas aplicamos de forma sistemática ambas metodologías de representación. De esta forma, tratamos de garantizar un análisis mucho más preciso de los posibles beneficios y/o perjuicios derivados de cada una de ellas (Tabla 1).

Todos los factores son significativos a la hora de planificar un trabajo de estas características, sin embargo, es de especial relevancia el análisis de una variable muy concreta. Nos referimos, en este caso, a aquella que compara el tiempo invertido con la calidad de los resultados que finalmente se obtienen. Comenzando, en primer lugar, por la técnica 2D, que combina la teoría ilustrativa tradicional con la aplicación de fotografía y nuevas herramientas informáticas, su principal atractivo es, sin duda, la sencillez y rapidez con la que puede realizarse. En este caso, la escasa

inversión de tiempo que precisa no está reñida con la calidad de los resultados que se obtienen. De hecho, los montajes resultantes permiten resaltar, mucho más fielmente incluso que algunas técnicas de digitalización 3D, los rasgos cromáticos y tecnológicos del elemento en cuestión.



**Figura 6.** Resultados obtenidos para la técnica 2D (arriba) y técnica 3D (abajo)<sup>1</sup> de una fuente del Bronce Final del Sudeste procedente del Cerro de Cabezueros (Úbeda, Jaén).

A pesar de que existen formas más rápidas de digitalización 3D, como es el caso de la obtención de modelos tridimensionales de cerámicas a partir de su dibujo arqueológico previo (Martínez *et al.* 2010; Sánchez y Cerdeño: 2014; Solorzano-Venegas 2016; Sopena 2006), en el caso de la fotogrametría, las ventajas no radican precisamente en la celeridad o el ahorro de tiempo que supone. Lejos de ello, su principal ventaja reside en aspectos como la precisión y la objetividad de los datos obtenidos a partir de ella. Efectivamente, la creciente mejora en el software fotogramétrico garantiza una distorsión del modelo con respecto a la

realidad cada vez menor, submilimétrica en muchos casos, algo imposible de conseguir con modelos digitales obtenidos mediante la restitución volumétrica a partir de dibujos previos realizados y obtenidos de forma completamente manual (Maldonado 2020). A diferencia de la fotogrametría SfM, estos métodos de modelado 3D que emplean como base el dibujo tradicional arrastran múltiples errores acumulados durante la toma de medidas y la representación, algunas veces ampliamente subjetiva, de ciertos elementos del objeto. Inevitablemente, todos estos fallos se trasladarían al modelo 3D resultante imprimiendo a este cierto cariz de irrealidad. Junto a ello, el acabado fotorrealista, especialmente de las texturas, que se obtiene mediante fotogrametría es inviable en el caso de objetos tridimensionales modelados a partir de un dibujo bidimensional que, habitualmente, carecen de textura o poseen una textura simplificada artificial. Debemos recordar que la textura y no solo el volumen de una pieza proporciona, a veces, una información esencial al arqueólogo.

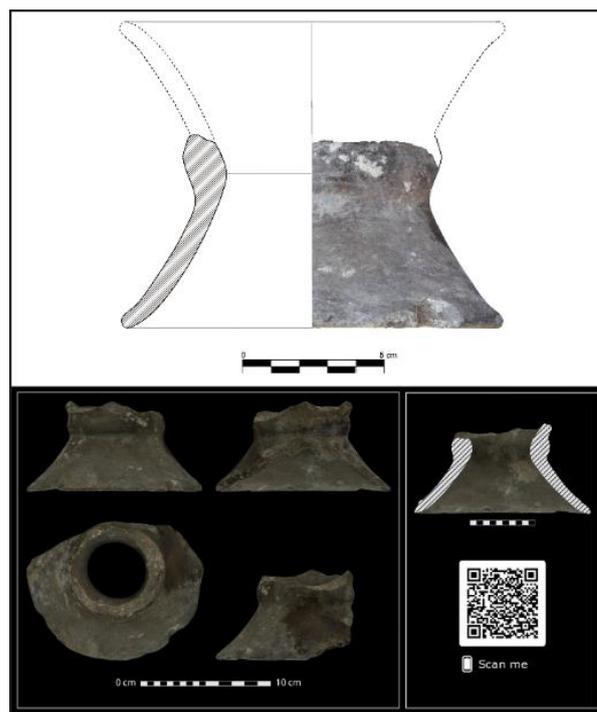
Por otro lado, si la visualización interactiva de un modelo fotogramétrico supone ya importantes ventajas con respecto a otros formatos tridimensionales como el mencionado anteriormente, en el caso de formas tradicionales de representación basados en una estricta bidimensionalidad esta dinámica es aún más evidente. Más allá incluso, las imágenes o renderizados 2D ortográficos que se pueden generar a partir de los modelos fotogramétricos previamente digitalizados, superan con creces la distorsión inherente en los formatos fotográficos tradicionales. En efecto, es tal su grado de precisión que la virtualización de estos

<sup>1</sup> Las figuras 6, 7, 8 y 9 incluyen un código QR situado en la esquina inferior derecha que enlaza con la plataforma *Sketchfab*, de forma que el modelo tridimensional y su reconstrucción pueden ser consultados de forma completa e

interactiva escaneándose con nuestro smartphone. Esto puede hacerse descargando la app gratuita Lector de Código QR de Green Apple Studio, por ejemplo. Este tipo de aplicaciones están disponibles en la *AppStore* o *Play Store*.

artefactos permite crear réplicas prácticamente idénticas. Reproducciones virtuales que suponen una interesante alternativa a la hora de conservar el patrimonio histórico y arqueológico ante posibles situaciones de riesgo. Tal como se refleja en la declaración de la UNESCO/UBC conocida como Declaración de Vancouver (2012), el fin último de la digitalización y modelado 3D de material arqueológico y patrimonial es el de preservar la memoria de la Humanidad ante posibles amenazas físicas (UNESCO 2003; Stanco *et al.* 2011; Pletinckx 2011; UNESCO/UBC 2012; Mccarthy 2014). Por otro lado, trabajar con modelos fotogramétricos de alta resolución posibilita también ulteriores análisis y mediciones, ahora en un entorno digital y sin la necesidad de volver a acceder a la pieza original.

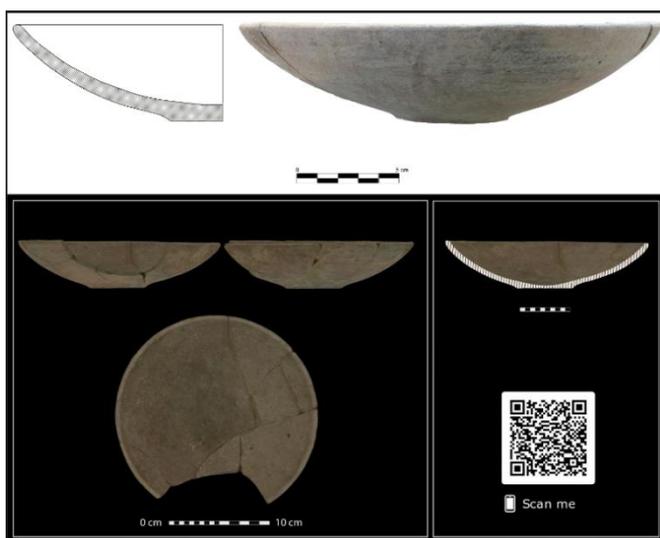
No hemos de obviar tampoco las enormes posibilidades que esta técnica 3D tiene dentro del ámbito de la difusión y la divulgación. Generar modelos digitales reales posibilita la creación de museos interactivos online con un fondo y un público objetivo impensables en su contrapartida tradicional (Rodríguez *et al.* 2017). A ello debemos sumar las numerosas posibilidades que derivan de las herramientas de impresión 3D, gracias a las cuales se pueden reproducir objetos arqueológicos reales con una precisión submilimétrica. Gracias a ello, es también posible adaptar el patrimonio a determinados grupos con discapacidad mediante, por ejemplo, la elaboración de réplicas tiflológicas. Por último, no debemos olvidar tampoco su aplicación dentro del ámbito académico, como una herramienta docente con un extraordinario potencial.



**Figura 7.** Resultados obtenidos para la técnica 2D (arriba) y técnica 3D (abajo) de un soporte del Bronce Final del Sudeste localizado en el yacimiento del Cerro de la Encina (Monachil, Granada).

<i>Técnica</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<b>2D</b>	<p>Escasa inversión de tiempo</p> <p>Una mejor representación del cromatismo real de la pieza</p> <p>Refleja mejor posibles rasgos tecnológicos</p>	<p>Menos precisión</p> <p>Mayor distorsión del perfil</p> <p>No permite análisis posteriores (volumétricos, tipológicos, etc.), salvo Análisis de Imagen</p> <p>Escasa aplicación a nivel divulgativo</p>
<b>3D</b>	<p>Más Precisión</p> <p>Menor distorsión del perfil</p> <p>Refleja mejor al geometría y textura de la pieza</p> <p>Permite restituciones digitales</p> <p>Permite análisis posteriores (volumétricos, tipológicos, etc.)</p> <p>Impresión 3D</p> <p>Aplicación en accesibilidad</p> <p>Gran potencial divulgativo</p>	<p>Gran inversión</p> <p>Tiempo</p> <p>Imposibilidad para aplicar en grandes conjuntos</p> <p>Possible problema con la</p> <p>Obsolescencia de datos digitales</p>

**Tabla 1.** Aspectos positivos y negativos de las técnicas de representación gráfica analizados en el estudio.



**Figura 8.** Resultados obtenidos para la técnica 2D (arriba) y técnica 3D (abajo) de un plato de borde engrosado adscrito al Hierro Antiguo localizado en el Cerro de la Mora (Moraleta de Zafayona, Granada).

Como hemos visto, a pesar de que el uso de sendas metodologías conlleva numerosas ventajas, emplear este tipo prácticas representacionales reviste algunos inconvenientes que conviene analizar. Si bien resaltábamos como su principal ventaja de la técnica de representación 2D el ahorro de tiempo, esto repercute directamente en la precisión y fiabilidad de la representación propiamente dicha. De este modo, aunque tengamos modelos de una calidad aceptable, en ningún caso alcanzaremos el nivel de precisión que proporcionan técnicas de digitalización 3D como la fotogrametría SfM. Otro de los problemas derivados de esta metodología es la imposibilidad de realizar análisis posteriores, al ser solo una fracción de la realidad del objeto arqueológico, una realidad en la que podríamos incluir a aquellos objetos tridimensionales modelados a partir de un dibujo arqueológico previo. El tercer inconveniente resulta de su escasa aplicación a nivel divulgativo. En este caso, consideramos que los resultados proporcionados por esta técnica carecen, en general, de la claridad necesaria para su correcta comprensión por parte de un público no especializado. Por ello, su empleo en el ámbito de la difusión y la divulgación queda realmente limitado.

Finalizaremos este apartado comentando algunos de los posibles hándicaps derivados de la aplicación de modelos 3D en la representación gráfica de cerámicas. El más importante es, sin duda alguna, la enorme cantidad de tiempo que aún conlleva su realización. De forma general, la suma de todos los procesos y post-procesos supone, en el mejor de los casos, una inversión aproximada de al menos dos horas por pieza. Con una ratio como esta, la aplicación de esta técnica en grandes colecciones es algo inviable, sobre todo en el caso de contar con un personal reducido. A esta dificultad habría que sumar la obsolescencia de los formatos, un

problema de conservación connatural al empleo de archivos y documentos digitales (UNESCO 2003) y cuyas posibles soluciones apenas se han arañado en la actualidad (Williamson 2005; Rosenthal 2010). De hecho, a pesar de que ha sido profusamente debatido en numerosas reuniones científicas internacionales en los últimos años, aún no se ha consensuado un modo de actuación unitario y realmente efectivo. En este punto, creemos necesaria la consecución en los diferentes proyectos de dinámicas que permitan una actualización constante de los formatos, de modo que la pérdida de información sea mínima a largo plazo. Del mismo modo que, a día de hoy, se destina (o al menos debería destinarse) parte del presupuesto de una excavación arqueológica al mantenimiento y puesta en valor de los restos rescatados, es cada vez más imperioso garantizar también el correcto mantenimiento de este creciente patrimonio digital.



**Figura 9.** Resultados obtenidos para la técnica 2D (arriba) y técnica 3D (abajo) de un contenedor de transporte oleario transatlántico del siglo XVI procedente de la bóveda de la Catedral de Sevilla.

## 5. Conclusiones

El avance de las nuevas tecnologías supone la inevitable evolución de las metodologías ligadas a la Arqueología. Sin embargo, la novedad no siempre es sinónimo de mejora. Al menos de una mejora absoluta. Los procesos de incorporación y asimilación precisan de un margen de tiempo concreto para que estas lleguen a ser realmente funcionales y útiles. Obviamente, esta situación es fácilmente extrapolable al ámbito de las nuevas herramientas de digitalización 3D del patrimonio. Una realidad que, desde hace algunos años, vienen aplicándose con cada vez más frecuencia en la disciplina.

A lo largo de este artículo, hemos analizados dos formas muy diferentes de representar un elemento tan característico y habitual en el registro arqueológico como es la cerámica. Por un lado, una técnica bidimensional basada en la implementación de técnicas tradicionales de dibujo mediante softwares como Adobe Photoshop o GIMP. Por otro, un flujo de trabajo basado en la fotogrametría *SfM* que, gracias a la combinación de varios programas informáticos anteriormente citados, permite una representación del artefacto cerámico totalmente diferente. Sin embargo, el empleo de estas técnicas no solo se traduce en ventajas, sino que su aplicación conlleva también toda una serie de importantes limitaciones.

Es conveniente entender que actualmente el principal factor limitante a la hora de planear una intervención arqueológica de cualquier tipo es una cuestión temporal. Por ejemplo, una de las principales desventajas de las nuevas herramientas 3D deriva, precisamente, de la necesidad de invertir una gran cantidad de tiempo por cada pieza representada. Esta es una dinámica que se hace mucho más evidente en aquellos procedimientos que están más fuertemente democratizados. Técnicas como la fotogrametría que, a pesar de no necesitar de

una inversión económica, demandan de un fuerte gasto de tiempo. Consecuencia de ello, su atractivo se ve limitado si se aplica a grandes conjuntos, no tanto porque carezcan de la precisión geométrica de otras técnicas como el *Scanner Laser* (Luz Estructurada), sino por el obstáculo temporal que implica su uso.

Por tanto, nos encontramos que, de entre todos los posibles elementos que pueden llegar a afectar a la elección de un flujo de trabajo u otro, la “Variable Tiempo/Resultado” es, a nuestro parecer, la más importante. Por ende, aunque estos procedimientos tiendan cada vez más a agilizarse, las posibilidades de la fotogrametría son aún bastante limitadas en este aspecto. De ahí que la aplicación de metodologías 2D, las cuales permiten afrontar conjuntos de mayores dimensiones, siga siendo rentable en determinadas situaciones.

Por otro lado, mientras que la comprensión de las infografías resultantes de la técnica de representación 2D parece quedar restringida a un grupo muy especializado de personas, la segunda técnica propuesta resulta ser mucho más idónea de cara a la difusión. Un aspecto este profundamente estigmatizado en el ámbito académico pero que se convierte en uno de los principales motores a la hora de rentabilizar una disciplina como es la Arqueología. Dentro del creciente interés en torno a la divulgación y la difusión de los bienes patrimoniales, las facilidades que proporciona una técnica de digitalización como es la fotogrametría son innegables. Junto a un formato de presentación mucho más atractivo y visual, nos encontramos con otras ventajas sólo inherentes a un modelo tridimensional. Esto incluye, por ejemplo, la posibilidad de llevar a cabo análisis morfométricos y volumétricos posteriores sin la necesidad de manipular físicamente la pieza original. Esta dinámica propicia el desarrollo de investigaciones en ámbitos geográficos alejados. Todo ello sin la necesidad de

desplazarse físicamente. Baste, como muestra, la generalización de esta “Arqueología a Distancia” -como tal vez podríamos denominarla- y que surge como resultado de la dinámica evolutiva de la propia Arqueología Virtual (Reilly 1991; Forte 1996) o Ciber-Arqueología (Forte 2011).

A todo ello habría que sumar las posibilidades derivadas de la impresión de modelos 3D. La sencillez y precisión con la que un modelo previamente digitalizado puede ser replicado mediante impresoras de este tipo, la convierten en una herramienta con un gran potencial educativo y museológico. Una aplicación impensable en metodologías estrictamente bidimensionales y probablemente una de las causas que explican la fuerte expansión del 3D en los últimos años.

Con todo, es primordial motivar y favorecer una mayor inversión de estas nuevas tendencias de representación y difusión del patrimonio arqueológico. Sin embargo, sería un grave error no prever las posibles limitaciones que puede implicar su uso. Junto con problemas meramente anecdóticos como son, en este caso, el tedioso procedimiento y la gran inversión de tiempo que aún requieren, existen también peligros mucho más reales como la denominada “obsolescencia de datos”. Una realidad que subyace en el empleo de estas nuevas tecnologías y que no garantiza, por ejemplo, la correcta conservación de estos formatos digitales. A largo plazo y sin una correcta gestión, esto podría llevarnos a la pérdida parcial o total de un patrimonio digitalizado que, a priori, consideramos inalterable por su propia naturaleza inmaterial. Es por ello que aún sigue siendo necesaria la aplicación de procesos de documentación y representación no tridimensionales que garanticen, en todo caso, mecanismos complementarios de preservación de la materialidad arqueológica, así como del propio

conocimiento generado a partir de ella. Obviamente, ello implica que debemos fomentar el uso combinado de metodologías divergentes como las propuestas en líneas anteriores. De esta forma, la aplicación de metodologías cada vez más informatizadas no

deberían suponer, en ningún caso, el abandono o la sustitución total de otras técnicas.

## 6. Agradecimientos

El presente trabajo ha sido realizado con el apoyo del proyecto *Arqueología en la Red: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)* financiado por Medialab, Cultura y Sociedad Digital, del Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Granada. Asimismo, el presente trabajo se ha desarrollado en el marco de las líneas estratégicas de investigación de la Unidad de Excelencia *Archaeometrical Studies. Inside the artefacts & ecofacts*, financiada por el Plan Propio de investigación de la Universidad de Granada. Por último, queremos agradecer los comentarios de sendos evaluadores anónimos que han ayudado a mejorar el trabajo.

## 7. Bibliografía

Aparicio Resco, P., Figueredo, C. (2016). El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica. *Revista Otarq*, 1: 235-247.

Bagot, F. (1999): *El dibujo arqueológico: la cerámica. Normas para la representación de las formas y decoraciones de las vasijas*. Lima: Institut Français d'Études Andines.

Barreau, J-B., Nicolas, T., Bruniaux, G., Petit, E., Petit, Q., Bernard, Y., Gaugne, R., Gouranton, V. (2014): Ceramics fragments digitization by photogrammetry reconstructions and applications. *International Conference on Cultural Heritage EuroMed, November 2014*. Lemessos, Cyprus: 37-46.

Benavides López, J.A., Aranda Jiménez, G., Sánchez Romero, M., Alarcón García, E., Fernández Martín, S., Lozano Medina, A., Esquivel Guerrero, J.A. (2016): 3D modelling in archaeology: The application of Structure from Motion methods to the study of the megalithic necropolis of Panoria (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10: 495-506.

Bonneval, H. (1972): *Photogrammétrie générale*, Tomo I. Paris

Bruno, F., Bruno, S., Da Sensi, G., Luchi, M-L., Mancuso, S., Muzzupappa, M. (2010): From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. *Journal of Cultural Heritage*, 11: 42-49.

Cabré Aguiló J. (1930): *Excavaciones en las Cogotas, Cardeñosa (Ávila) I. El Castro*. Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades 110. Madrid

- Cabré Aguiló J. (1932): *Excavaciones en las Cogotas, Cardeñosa (Ávila) II. La Necrópolis*. Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades 120. Madrid.
- Carrasco Rus, J., Martínez Sevilla, F., Gámiz Jiménez, J. Pachón Romero, J.A., Gámiz Caro, J., Jiménez-Brobeil, S. (2014): Los registros funerarios neolíticos de la Sima 'LJ11' (Loja, Granada). Nuevos datos y cronologías. *Antiqvitas*, 26: 5-41.
- Carrasco Rus, J., Martínez Sevilla, F., Pachón Romero, J.A., Gámiz Jiménez, J. (2015): Nuevas aportaciones para el conocimiento del arte rupestre esquemático y los soportes muebles en la cuenca alta del Guadalquivir. Las pinturas del Cerro Jabalcón (Zújar, Granada) y sus relaciones con las de Tajo de Lillo (Loja, Granada). *Antiqvitas* 27: 7-30.
- Cohen, F., Liu, Z., Ezgi, T. (2013): Virtual reconstruction of archeological vessels using expert priors and intrinsic differential geometry information. *Computers y Graphics*, 37: 41–53.
- Cosmasl, J., Itegaki, T., Green, D., Joseph, N. (2003): Providing Multimedia Tools for Recording, Reconstruction, Visualisation and Database Storage. En Arnold, D., Chalmers, A., Niccolucci, F. (Eds.) *4th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage VAST* (2003). Eurographic Association: 165-174.
- Cuesta, F., Bardet, E. (1990): Principios generales del dibujo en Arqueología: material cerámico. Propuesta de normalización. *Estudios de la Antigüedad*, 6/7: 63-90.
- Denard, H. (2009): *The London Charter for the computer-based visualisation of cultural heritage*. Draft 2.1. [Último acceso 28/01/2020]. <http://www.londoncharter.org>.
- Domingo, I., Burke, H., Smith, C. (2007): *Manual de campo del arqueólogo*. Ariel: Barcelona.
- Dorado Alejos, A. (2012): “El Bronce Final del SE Peninsular. Un análisis tecnológico de vasijas pertenecientes al Corte 23 del Cerro de los Infantes (Pinos-Puente, Granada)”. *Arqueología y Territorio*, 9: 95-116.
- Estravis Corona, L. (2008): “Dibujo Arqueológico”. *Revista Mundo Antiguo*, 5.
- Forte, M. (2014): “3D archaeology: new perspectives and challenge: the example of Çatalhöyük”. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*, 2 (1): 1–29.
- Forte, M., Leclant, J. (1996): *Arqueología: Paseos Virtuales por las Civilizaciones Desaparecidas*, Ed. Grijalbo Mondadori.
- Forte, M., Siliotti, A. (1997): *Virtual archaeology. Re-creating ancient worlds*. Harry N. Abrams: New York.
- Fresneda Padilla, E. (1980): *El poblado prehistórico de 'El manzanil' (Loja, Granada)*. Memoria de Licenciatura Inédita. Universidad de Granada: Granada.
- Garstki, K. (2017): Virtual Representation: The Production of 3D Digital Artifacts. *Journal of Archaeology Method Theory*, 24: 726–750

- Gruber, E. (2015): 3D Models as Analytical Tools. En Olson, B., Caraher, W. (Eds.) *Visions of substance: 3D imaging in Mediterranean archaeology*. The Digital Press at the University of North Dakota: Grand Forks. 63-72.
- Heath, S. (2015): Closing gaps with low-cost 3D. En Olson, B., Caraher, W. (Eds.) *Visions of substance: 3D imaging in Mediterranean archaeology*. The Digital Press at the University of North Dakota: Grand Forks. 53–62.
- Jakob, W., Tarini, M., Panozzo, D., Sorkine-Hornung, O. (2015): Instant field-aligned meshes. *ACM Transactions on Graphics*, 34 (6): 1-15.
- Kampel, K. y Sablatnig, R. (2002): Computer aided classification of ceramics. *Virtual archaeology: proceedings of the VAST Euroconference, Arezzo 24-25 (November 2000)*: Archaeopress: Oxford. 77-82.
- Karasik, A., Smilansky, U. (2008): 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. *Journal of Archaeological Science*, 35: 1148-1168.
- Leonardi, G., Penello, G. (1991): *Il disegno archeologico della cerámica*. Saltuarie dal Laboratorio del Piovego, 2.
- López-Menchero Bendicho, V. M. (2013): International Guidelines for Virtual Archaeology: The Seville Principles. En Corsi, C., Slapsak, B., Vermeulen, F. (Eds.) *Good practice in archaeological diagnostics: Non-invasive survey of complex archaeological sites*. Springer. 269-283.
- Maldonado Ruiz, A. (2018): Ventajas y desventajas de la aplicación de técnicas fotogramétricas y de digitalización 3D en el patrimonio arqueológico mexicano. Las piezas de la subdirección de Arqueología Subacuática del INAH como caso de estudio. *Actas IV Congreso Internacional El Patrimonio y las Nuevas Tecnologías*. Universidad Autónoma de Campeche-Instituto Nacional de Antropología e Historia. En prensa.
- Maldonado Ruiz, A. (2019): La gestión y conservación digital del patrimonio histórico-arqueológico de Alhama de Granada. *Revista del Patronato de Estudios Alhameños*, 15: 28-29.
- 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*. Granada: Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/62261>
- Martínez, A.; Ruiz, A., Rubio, M.A. (2010): Digitalización y visualización 3D de cerámica arqueológica. *Virtual Archaeology Review*, 1 (2): 133-136.
- Mccarthy, J. (2014): Multi-Image Photogrammetry as a Practical Tool for Cultural Heritage Survey and Community Engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43: 175-185.
- Melero F.J., León, A., Contreras Cortés, F., Torres, J.C. (2003): A new system for interactive vessel reconstruction and drawing. En CAA'03. Viena.

- Melero F.J., Torres J.C., León A., Cano P. (2004): Cap. 15: Reconstrucción Interactiva de Cerámica Arqueológica. En Arinyo, R.J., Torres, J.C., Feito, F.R. (Eds.) *Plataforma Avanzada de Modelado Paramétrico en CAD*: 315-332. Ed. Thomson-Paraninfo: Jaén.
- Miles, J., Pitts, M., Pagi, H., Earl, G. (2014): New applications of photogrammetry and reflectance transformation imaging to an Easter Island statue. *Antiquity*, 88: 596–605.
- Molina González, F. (1976): *Las culturas del Bronce Final en el Sudeste de la Península Ibérica*. Tesis Doctoral Inédita. Granada: Universidad de Granada.
- Moreno Martín, A., Quixal Santos, D. (2012-2013): Bordes, bases e informes: el dibujo arqueológico de material cerámico y la fotografía digital. *Arqueoweb. Revista sobre Arqueología en Internet*, 14: 178-214.
- Olson, B., Caraher, W. (Eds.) (2015): *Visions of substance: 3D imaging in Mediterranean archaeology*. The Digital Press at the University of North Dakota: Grand Forks.
- Pachón Romero, J.A., Carrasco Rus, J., Gámiz Jiménez, J., Riquelme Cantal, J. A., Buendía Moreno, A. F. (2013): Bronce Final en la alcazaba de Loja (Granada) hallazgos de la Torre 5. *Antiqvitas*, 25: 61-84.
- Pereira Uzal, J.M. (2013): Modelado 3D en patrimonio cultural por técnicas de Structure from Motion. *PH Investigación*, 1: 77-87.
- Picon, M. (1998): Les mesures, par dilatométrie, des températures de cuisson des céramiques de La Graufesenque: principes et applications. *Annales de Pegasus*, 3: 32–40.
- Pires, H., Ortiz, P., Marques, P. Sánchez, H. (2006): Close-range Laser Scanning Applied to Archaeological Artifacts Documentation. Virtual Reconstruction of an XVIth Century Ceramic Pot. En Ioannides, M., Arnold, D., Niccolucci, F., Mania, K. (Eds.) *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. 1-6.
- Pletinckx, D. (2011): Virtual Archaeology as an Integrated Preservation Method. *Virtual Archaeology Review*, 2 (4): 33-37.
- Reilly, P. (1990): Towards a virtual archaeology. En Lockyear, K., Rahtz, S. (Eds.) *Computer Applications in Archaeology* (BAR International Series 565). Tempus Reparatum: Oxford. 133-139.
- Reilly, P. (1992): Three-dimensional modelling and primary archaeological data. En Reilly, P. Rahtz, S. (Eds.): *Archaeology and the information age*. Harper Collins: London: 147–173.
- Reinhard, A. (2015): Three- and Four-Dimensional Archaeological Publication. En Olson, B., Caraher, W. (Eds.) *Visions of substance: 3D imaging in Mediterranean archaeology*. The Digital Press at the University of North Dakota: Grand Forks. 43-53.
- Remondino, F. (2006): Image-based 3D modelling: a review. *The Photogrammetric Record*, 21 (115): 269–291.

- Remondino, F. (2014): Photogrammetry-basic theory. En Remondino, F., Campana, S. (Eds.) *3D recording and modeling in archaeology and cultural heritage: theory and best practices*. Archaeopress: Oxford. 7–12.
- Rivero, M.P. (2011): La arqueología virtual como fuente de materiales para el aula. *Íber Didáctica de las Ciencias Sociales, Geografía e Historia*, 68: 17-24.
- Rocchini, C., Cignoni, P., Montani, C., Pingi, P., Scopigno, R. (2001): A low cost 3D scanner based on structured light. *Computer Graphic Forum* 20 (3): 299-308.
- Rodríguez, A., Valle, J.M., Calparsoro, E., Iñáñez, J.G. (2017): Study, revalorization and virtual musealization of a ceramic kiln based on information gathered from old excavations. *Digital applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 7. 1-9.
- Rosenthal, D.S.H. (2010): Format obsolescence: assessing the threat and the defenses. *Library Hi Tech*, 28 (2): 195 - 210
- Sanchez Climent, Á., Cerdeño, M.L. (2014): Propuesta metodológica para el estudio volumétrico de cerámica arqueológica a través de programas free-software 3D: el caso de las necrópolis celtibéricas del área meseteña. *Virtual Archaeology Review*, 5 (11): 20-33.
- Sanna, C. (2015): *Producción y tecnología cerámica entre tradición e innovación: el caso de las Béticas a través de los productos alfareros de dos asentamientos de los siglos VIII y VI a.C.* Universidad de Granada: Granada.
- Shott, M. (2014): Digitizing Archaeology: A Subtle Revolution in Analysis. *World Archaeology*, 46: 1-9.
- Solórzano-Venegas, M.S., Bolaños-Zarate, J.E., Urbina Velazco, C.J., Gallardo, V. (2016): Guía básica para el modelado en 3D de objetos cerámicos arqueológicos completos y fragmentados. *@rqueología y territorio*, 13: 123-132
- Sopena, M.C. (2006): La investigación arqueológica a partir del dibujo informatizado de cerámica, *Saldvie*, nº6: 13-27.
- Stanco, F., Battiato, S., Gallo, G. (Eds.) (2011): *Digital Imaging for Cultural Heritage Preservation: Analysis, Restoration, and Reconstruction of Ancient Artworks*. Boca Ratón.
- UNESCO (2003): *Carta sobre la preservación del patrimonio digital*, París: (15 de Octubre de 2003). [Última consulta: 28/01/2020]. <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001331/133171e.pdf#page=80>
- UNESCO/UBC (2012): *Declaración de Vancouver. La Memoria del Mundo en la era Digital: Digitalización y Preservación*, Vancouver (26-28 de septiembre de 2012). [Última consulta: 13/04/19]. <https://documania20.wordpress.com/2012/10/10/la-memoria-del-mundo-en-la-era-digital-declaracion-de-vancouver-unescoubc/#more-2357>
- Webmoor, T. (2007): What about ‘one more turn after the social’ in archaeological reasoning? Taking things seriously. *World Archaeology*, 39 (4): 563–578.

Williamson, A. (2005): Strategies for managing digital content formats. *Library Review*, 54 (9): 508-513.