

ARQUEOLOGÍA, IMPRESIÓN 3D Y TIFLOLOGÍA. LA ACCESIBILIDAD DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO COMO FORMA DE DIFUSIÓN

Archeology, 3D Printing and Typhology.
The Accessibility of the Archaeological Heritage as a form of dissemination

ALEXIS MALDONADO RUIZ *, JORGE ROUCO COLLAZO ** y
CRISTINA MARTÍNEZ CARRILLO **

RESUMEN La innovación y el fuerte desarrollo en torno a las herramientas de digitalización, modelado digital e impresión 3D que se viene desarrollando en los últimos años han supuesto beneficios más que evidentes en especial de cara al estudio, la conservación y, muy especialmente, dentro del ámbito de la difusión del patrimonio arqueológico en general. En este trabajo exploramos cómo la combinación de la fotogrametría *Structure From Motion*, el modelado 3D y la impresión 3D por adición de material permite crear una metodología de trabajo para crear réplicas de pequeños artefactos de cultura material a bajo costo y fácilmente adaptables tiflológicamente para que sean accesibles para personas invidentes o con hipovisión. Esto abre unas interesantes perspectivas de futuro para hacer la Arqueología y el Patrimonio más accesible para todos.

Palabras clave: Tiflogía, Difusión, Impresión 3D, Fotogrametría, Accesibilidad, Reconstrucción 3D.

ABSTRACT The last few years of innovation and the strong development regarding digitalization tools, digital modelling and 3D printing have created some strong benefits on the research, conservation and diffusion apropos of Archaeological Heritage. In this paper we explore how the combination of Structure from Motion photogrammetry, 3D

* Departamento de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Campus Universitario de Cartuja s/n, Universidad de Granada, 18071 Granada (España). amaru@ugr.es. <https://orcid.org/0000-0002-6602-9514>

** Laboratorio MEMOLab, Edificio I+D Josefina Castro Vizoso, Avda. Madrid s/n, 18071 Granada (España). rouco@ugr.es. <https://orcid.org/0000-0002-9111-397X>; martinezcarrillocris@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6031-1220>

Fecha de recepción: 10-04-2021. Fecha de aceptación: 11-06-2021.
<http://dx.doi.org/10.30827/CPAG.v31i0.15430>

modelling and 3D printing allows us to apply a workflow for the manufacturing of replicas of small archaeological artefacts at low-cost. This methodology based on a digital ecosystem is also easily to adapt typhlogically in order to make these replicas more accessible to blind people or with other vision impairments. This opens new paths to make Archaeology and Heritage more accessible for all.

Keywords: Typhlogy, Dissemination, 3D printing, Photogrammetry, Access, 3D Reconstruction.

INTRODUCCIÓN

“La importancia de las tecnologías no se encuentran en ellas mismas, sino en lo que somos capaces de realizar con ellas. Será necesario realizar un análisis para evaluar no tanto sus potencialidades tecnológicas como sus potencialidades para crear entornos educativos y comunicativos diferenciados” (Cabero, 2000).

Las posibilidades de herramientas actuales como la fotogrametría *Structure from Motion* (SfM) no se limitan única y exclusivamente al marco virtual. Esto quizás parezca contradictorio, pero el ser humano es un animal táctil para el que sigue existiendo la necesidad de una manipulación mecánica y directa con su entorno material más próximo. Todo esto no deslegitima el uso de este tipo elementos virtuales, sino que, al contrario, los convierte en recursos aún más valiosos para nuestra sociedad. El proceso de rematerialización de los modelos digitales generados mediante fotogrametría o diseño 3D es posible de forma relativamente sencilla gracias a la impresión tridimensional.

La impresión 3D por adición de material es una tecnología que se ha desarrollado enormemente en las últimas décadas. Así, existen hoy día algunos prototipos de impresoras 3D que permiten desde la producción de medicamentos (Marson *et al.*, 2016:2) o prótesis médicas (Rengier *et al.*, 2010:336) a la construcción automatizada de edificios (Perrot *et al.*, 2016:1217). No obstante, aunque su aplicación y posibilidades son enormes, este tipo de dispositivos resultan aún costosos y la difusión de su uso aún no ha sido posible.

Esta es una realidad especialmente evidente en el ámbito de la Arqueología donde su uso, aunque todavía reducido, empieza a ser cada vez más habitual. Esto se debe a la velocidad en el desarrollo de este tipo de tecnologías que en la última década ha generado dispositivos y metodologías mucho más accesibles a todo tipo de usuarios que permiten rematerializar el patrimonio arqueológico digitalizado con una morfología casi idéntica a la de sus originales. Réplicas que, además, son capaces de adaptarse a las necesidades de determinados colectivos, haciendo de la Arqueología una disciplina más integradora y, por ende, más social y pública. Un claro ejemplo de ellos son todas aquellas personas invidentes o con cierto grado de hipovidencia a las que les es imposible o muy difícil percibir algunas características del patrimonio arqueológico.

Por otro lado, pero del mismo modo íntimamente relacionada con una dinámica de inclusión cada vez mayor, surge también en este contexto, y por primera vez en 1972 (McGimsey, 1972), el término de Arqueología Pública. Como sucedía en

otros muchos campos de la investigación, hasta ese momento no se había reflexionado críticamente y en profundidad sobre cuál era y cuál debía ser el papel de la Arqueología frente al público no especializado. Por aquel entonces, la posibilidad de que la misma sociedad pudiese participar de la conservación de su propio pasado era una idea aún vaga. Como la definiría posteriormente Schadla-Hall (1999:147): “La Arqueología Pública es cualquier área de actividad arqueológica que interactúa o tiene el potencial de interactuar con el público, la gran mayoría de los cuales, por diversas razones, sabe poco acerca de la arqueología como materia académica”. Junto a esta Arqueología Pública, se han generado otras propuestas teóricas, siempre buscando la participación activa del conjunto de la población como la Arqueología Comunitaria (Ascherson, 2000; Moshenska, 2009, 2017; Richardson, 2013; Bonacchi *et al.*, 2014; Bonacchi, 2017; Delgado, 2017:117-127; Grima, 2017; Tully, 2019). Actualmente, esta definición debe incluir la necesidad de que el propio patrimonio arqueológico sea adaptado, en mayor o menor medida, a personas con capacidades diferentes.

Para este fin de hacer accesible el patrimonio, las tecnologías de impresión aplicadas a la Arqueología plantean una nueva dimensión de posibilidades en consonancia con la Tiflogía. Entendida esta como la ciencia que estudia las condiciones y la problemática que rodea a las personas con discapacidad visual, con el fin de desarrollar soluciones para conseguir su plena integración laboral, social y cultural.

Gracias a esto, dentro del cajón de sastre que componen las Humanidades Digitales, la Arqueología se erige quizá como la disciplina social por antonomasia (Hockey, 2004; Schreibman *et al.*, 2004; Presner *et al.*, 2009; Galina, 2011; Burdick *et al.*, 2012; Rojas, 2013; Remondino y Campana, 2014; Romero, 2014; González-Blanco, 2016). Al estudiar el pasado cultural de una sociedad presente en beneficio de las comunidades futuras, su principal aporte no debería ser académicamente exclusivo sino necesariamente social (Schreibman *et al.*, 2004; Maldonado, 2020).

LA REMATERIALIZACIÓN DEL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO. UN FLUJO DE TRABAJO CADA VEZ MÁS ASEQUIBLE Y EFECTIVO

Cuando en 1991 P. Reilly (1991:133-137) trataba de describir la Arqueología Virtual, en su planteamiento inicial, el autor hablaba de la posibilidad de digitalizar y volver a materializar el contexto arqueológico en su propia naturaleza material y significación cultural. Todo ello las veces que fuesen necesarias y con el objetivo de poder reexcavar en un ambiente controlado, y de forma mucho más precisa, los fenómenos deposicionales y postdeposicionales de una realidad arqueológica concreta. Aunque aún hoy no resulta viable llevar a cabo esta utopía propuesta por P. Reilly, somos cada vez más conscientes de las enormes posibilidades de estas herramientas digitales. En efecto, los beneficios actuales de técnicas como la fotogrametría SfM no se limitan única y exclusivamente al marco virtual (Maldonado, 2020:213-214).

En 2013 Enrique Canessa afirmaba “Low-cost, three-dimensional (3D) desktop printing, although still in its infancy, is rapidly maturing, with seemingly unlimited potential. With its capability to reproduce 3D objects —from archaeological artifacts, complex mathematical surfaces, up to medical prostheses— the technology holds a particularly promising future for science, education and sustainable development.” (Canessa *et al.*, 2013:11). Hoy sabemos que esto no solo es cierto, sino que su grado de desarrollo es aún mayor de lo esperado (Saorín *et al.*, 2017:34). Los dispositivos de impresión 3D, como la Creality Ender 3 Pro usada para la elaboración de las piezas que presentamos en este artículo, son cada vez más accesibles, en todos los aspectos, para el grueso de las instituciones y la población en general. Esto las convierte en herramientas idóneas y necesarias en centros de todos los niveles educativos.

Relacionado con el patrimonio y desde hace algún tiempo, es cada vez más frecuente también el uso de las denominadas como tecnologías de fabricación por adición, dentro las cuales se encuentra la impresión 3D. Las nuevas impresoras 3D permiten reintegrar la realidad digital en materiales muy diversos y de forma bastante asequible, en especial en el caso de los materiales plásticos.

De esta forma, una réplica digital documentada mediante fotogrametría puede ser devuelta a su formato tangible mediante impresoras estereolitográficas (SLA por su acrónimo en inglés), de sinterización selectiva por láser (SLS por su acrónimo en inglés) o, como es nuestro caso, de modelado por deposición fundida (FDM por su acrónimo en inglés). Todo ello a partir de materiales plásticos bastante económicos como el ácido poliláctico (PLA por su acrónimo en inglés), el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), alcohol polivinilo (PVA por su acrónimo en inglés), policarbonatos (PC), polietileno de alta densidad (HDPE por su acrónimo en inglés) o resinas de fotopolímero (LCD por su acrónimo en inglés).

Hoy día existen impresoras 3D con precios bastante accesibles y cuyos costes de mantenimiento y producción son realmente bajos (tabla 1). Esta situación, que ya avanzaba el Informe Horizon en 2016 (Adams *et al.*, 2016:42) se debe en parte a la generalización de la filosofía del *open-source* entre los equipos y paquetes informáticos ligados al mundo de la impresión 3D. La liberación de patentes que se produce tras el Proyecto RepRap iniciado por Adrian Bowyer en 2004 (Jones *et al.*, 2011), permite a los usuarios bajo la licencia Pública General de GNU (GNU GPL) disponer, modificar y compartir los diseños de las impresoras 3D. Propicia asimismo la aparición de modelos de impresoras autorreplicantes de bajo coste y cada vez más eficientes, destacando actualmente el modelo FDM Prusa i3 (Rouco *et al.*, 2020). Los modelos actuales de estas impresoras son capaces de generar piezas de pequeño y mediano tamaño con un grado de precisión incluso inferior a 0.1 mm.

Obviamente, este hecho ha favorecido enormemente la expansión de este tipo de dispositivos en áreas y disciplinas profundamente ligadas a la gestión patrimonial y más concretamente en Arqueología (Zennaro, 2013:62-63).

TABLA 1
RELACIÓN DEL COSTO APROXIMADO QUE SE DEDUCE DE LAS IMPRESIONES 3D
MEDIANTE DISPOSITIVOS FDM DE BAJO COSTE COMO LA CREALITY ENDER 3 PRO
(Maldonado, 2020:216)

PIEZA	Dimensiones Eje X (en mm)	Dimensiones Eje Y (en mm)	Dimensiones Eje Z (en mm)	Tiempo de Impresión (minutos)	Material Gastado (metros)	Coste en Material 0.05€/metro	Coste en Luz 0.001 €/ minuto	TOTAL
Bola Sonajera Nevado de Toluca	80 mm	80.3 mm	78 mm	602 mins	21.2 m	1.03 €	0.60 €	1.63 €
Figura Cerámica PASNT_ONT_0749	64.8 mm	53.2 mm	90.4 mm	409 mins	10.2 m	0.50 €	0.40 €	0.90 €
Figura Cerámica PASNT_ONT_0749_2	39.4 mm	40 mm	58.9 mm	252 mins	5.7 m	0.28 €	0.25 €	0.53 €
Figura Cerámica PASNT_ONT_0773	46.1 mm	42.7 mm	64.7 mm	215 mins	5.4 m	0.27 €	0.21 €	0.48 €
Figura Cerámica PASNT_ONT_1118	39.2 mm	45.8 mm	21.4 mm	133 mins	3.4 m	0.17 €	0.13 €	0.30 €
Figura Cerámica PASNT_ONT_1121	74.9 mm	70.3 mm	73.4 mm	566 mins	16.4 m	0.80 €	0.56 €	1.36 €
Figura Cerámica PASNT_ONT_1122	51.9 mm	45.3 mm	54.8 mm	212 mins	5 m	0.25 €	0.21 €	0.46 €
Figura Cerámica PASNT_ONT_1124	47.5 mm	38.6 mm	56.1 mm	155 mins	3.6 m	0.18 €	0.15 €	0.33 €

A pesar de la aparente sencillez hoy día del uso de las impresoras FDM, la preparación de los modelos para su posterior impresión requiere de un proceso a veces bastante complejo, que conviene especificar.

El primer paso es obviamente la digitalización mediante fotogrametría SfM. Así, siguiendo diversas estrategias de captura (Rouco *et al.*, 2018; Benavides *et al.*, 2020; Maldonado, 2020; Maldonado y Fernández-García, 2020) podemos obtener un modelo digital de prácticamente cualquier elemento patrimonial. Una vez digitalizado, el objeto virtual debe ser sometido a un proceso de optimización mediante retopología que permita reorganizar la malla geométrica digital y crear así una mucho más ligera y, sobre todo, más coherente (Dey, 2018:10-12). De esta forma, la compleja distribución original en base a formas triangulares o tris que producen los *softwares* fotogramétricos (Floriani y Magillo, 2009:3178-3179; Bhargava *et al.*, 2013:172-176) se ve sustituida por otra mucho más simple y fácil de manipular basada en *quads* o polígonos de cuatro lados.

El proceso propiamente dicho suele implicar la utilización de varios programas de diseño y modelado 3D. En nuestro caso particular empleamos de forma conjunta instant meshes (Jakob *et al.*, 2015; Instant Meshes, 2015) para la reordenación automática de la malla (fig. 1) y Blender (Roosendaal, 1998) para solventar posibles fallos en la estructura digital del modelo (fig. 2). Esto suele ser necesario pues, habitualmente, el algoritmo automatizado de Instant Meshes suele imprimir ciertos defectos a las mallas reordenadas.

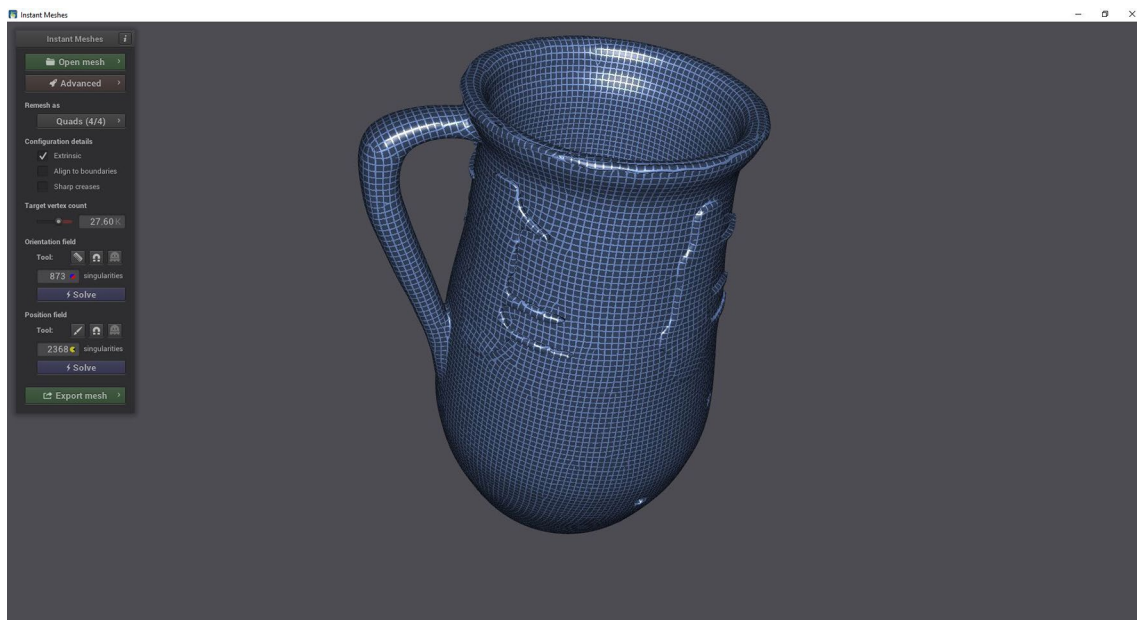


Fig. 1.—Reordenación de la malla digital de la réplica tifológica del Jarrito con Decoración en Manganeseo procedente de Mojácar. Figura en color en la edición electrónica.

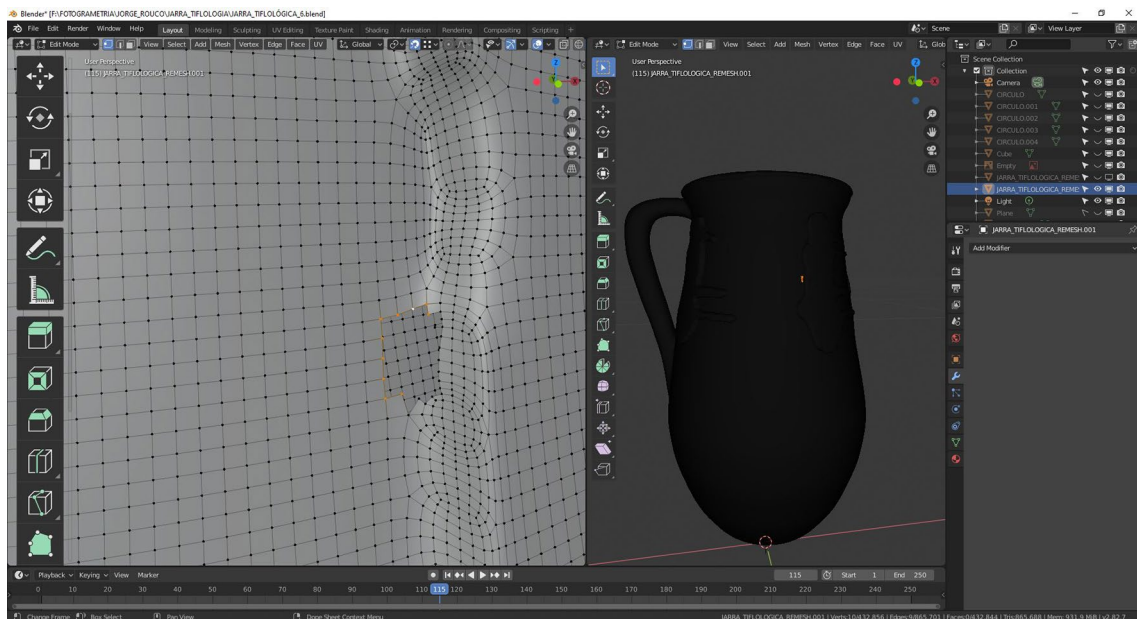


Fig. 2.—Proceso de reparación topológica, llevado a cabo en Blender con el objetivo de solucionar algunos desperfectos ocasionados durante la integración de los apliques digitales y posterior reordenación de la malla digital. Figura en color en la edición electrónica.

Un proceso retopológico completo implica además todos aquellos procesos conducentes a la readaptación de las texturas del objeto original sobre aquel otro cuya malla ha sido reorganizada (Maldonado, 2020:160) (fig. 3). Esta parte del procedimiento, puede obviarse en el caso de las piezas impresas en 3D que no adaptamos tiflológicamente. Dado que la mayoría de las impresoras actuales no son capaces de plasmar los contrastes cromáticos reales de la pieza, el uso de las texturas resultaría redundante. Sin embargo, cuando lo que queremos llevar a cabo es la readaptación de una decoración pictórica a un formato tiflológico táctil, la

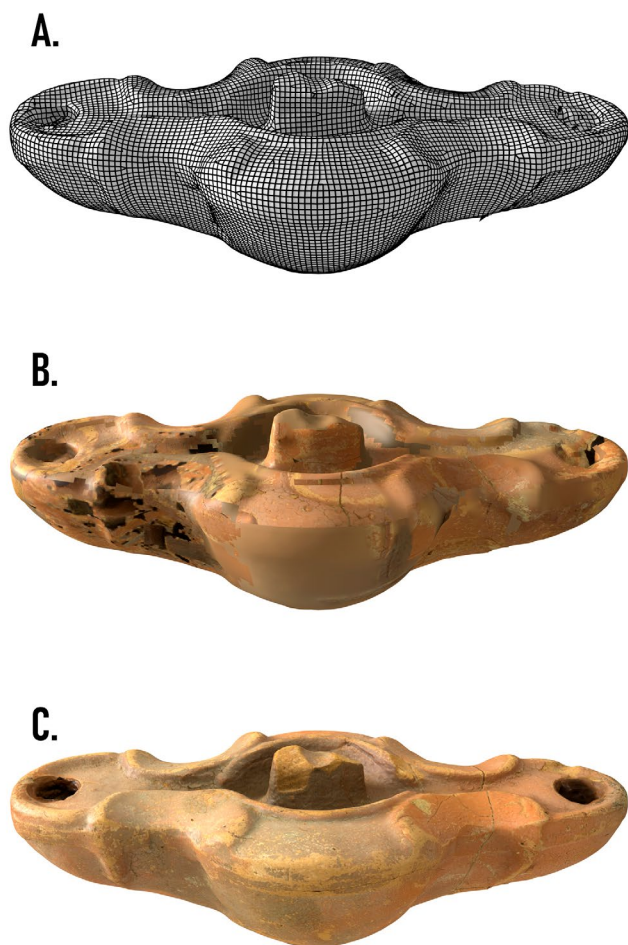


Fig. 3.—A) Distribución UV del modelo con retopolología de la lucerna de doble pico procedente del Cerro de la Mora, Moraleda de Zafayona (Granada). B) Error al aplicar la textura del modelo original sobre el modelo con retopolología donde la disposición de esta no concuerda con el cuerpo tridimensional. C) Modelo correcto donde se ha llevado a cabo el remapeado de las texturas (Maldonado, 2020:160-161 y fig. 3.62). Figura en color en la edición electrónica.

correcta ubicación de los mapas de texturas resulta vital en el proceso posterior de modelado tridimensional, el cual se desarrolla íntegramente en Blender.

Con el modelo digital optimizado, perfectamente cerrado y adaptado pasamos a la preparación del modelo para su posterior impresión. Para ello, por su sencillez de uso y efectividad, empleamos la aplicación gratuita Ultimaker Cura (Braam, 2017) para segmentar nuestros modelos digitales y transformarlos en un archivo de coordenadas G-Code (Geometric Code) también conocido como RS-274, unos ficheros de texto plano compuestos por líneas de instrucciones que se encargan de indicarle a la impresora 3D donde debe moverse, cuánto material ha de extruir en cada paso de la impresión 3D y algunos otros parámetros como la temperatura de la boquilla o la cama de impresión, altura de capa, la velocidad de impresión, resistencia de impresión y la presencia o no de soportes (tabla 2). En nuestro caso,

TABLA 2
INTERPRETACIÓN DE PARTE DE LA LÍNEA CÓDIGO G-CODE DEL MODELO LAMINADO DE LA RÉPLICA TIFLOLÓGICA DE LA CERÁMICA PINTADA DE TRADICIÓN IBÉRICA PROCEDENTE DE LOS VILLARES DE ANDÚJAR

LÍNEA DE CÓDIGO GCODE	INTERPRETACIÓN DE LAS LÍNEAS DE CÓDIGO
;LAYER:-8	Impresión CAPA -8
M107	Apagar ventilador
M204 S500	Fijar parámetros de velocidad de impresión
M205 X10 Y10	Fijar velocidad de movimiento (<i>FeedRate</i>) a 10 mm tanto en el eje X como en el eje Y
G0 F7200 X94.865 Y100.563 Z0.24	Posicionar el fusor a 94.865 mm del eje X, 100.563 mm del eje Y y 0.24 mm del eje Z. Establece una velocidad de 7200 mm/min en todos los casos
;TYPE:SUPPORT-INTERFACE	Comienza a generar el tipo de soporte elegido en el software
G1 F2400 E0	Ajustar posición del filamento a 0 mm a una velocidad de 2400 mm/min
G1 F1350 X95.561 Y99.947 E0.07419	El comando G1 hace referencia a la ejecución de un movimiento lineal. En este caso, el fusor debe posicionarse exactamente a 95.561 mm del eje X, 99.947 mm del eje Y, además de empujar 0.07419 mm de filamento. En todos los casos a una velocidad de 1350 mm/min
G1 X95.686 Y99.844 E0.08712	Establece la misma velocidad que en la línea anterior (1350 mm/min) y el fusor debe posicionarse exactamente a 95.686 mm en el eje X, 99.844 mm en el eje Y. Empujar 0.08712 mm de filamento
G1 X96.404 Y99.296 E0.15922	Establece la misma velocidad que en la línea anterior (1350 mm/min) y el fusor debe posicionarse exactamente a 96.404 mm en el eje X, 99.296 mm en el eje Y. Empujar 0.15922 mm de filamento
G1 X96.525 Y99.21 E0.17107	Establece la misma velocidad que en la línea anterior (1350 mm/min) y el fusor debe posicionarse exactamente a 96.525 mm en el eje X, 99.21 mm en el eje Y. Empujar 0.17107 mm de filamento

al usar el filamento de PLA de la marca BQ, para garantizar el mejor acabado posible de las piezas empleamos la siguiente configuración:

- Temperatura de la boquilla de 205°
- Temperatura de la mesa de impresión de 60°
- Altura de capa de 0.12 mm
- Grosor de la pared de 1.32 mm
- Grosor de las capas superiores e inferiores de 0.84 mm
- Relleno de triángulos con una densidad de entre el 50 y el 60 %
- Velocidad de impresión de 50 mm/s
- Sin soportes de impresión

Todo este flujo metodológico culmina con la impresión de la pieza en ácido poliláctico (PLA). Para ello, empleamos una impresora de gama baja Creality Ender 3 Pro, la cual debemos calibrar de forma manual.

MATERIALES

En términos estrictamente terminológicos, cualquier pieza física que pueda ser manipulada y palpada por una persona invidente o hipovidente podría ser considerada como una réplica tiflológica en sí. No obstante, existen distintos procedimientos para resaltar elementos de la pieza que, originalmente, no pueden ser percibidos. Por ello, a lo largo de este breve artículo decidimos seleccionar tres piezas arqueológicas de tamaño, forma, naturaleza y cronología distinta. Todas ellas compartían, no obstante, una característica en común: presentaban en mayor o menor medida un tipo de decoración pintada apenas perceptible de forma táctil, pero que podríamos adaptar para personas discapacidad visual.

Fuente Cerámica del Bronce Final del Sudeste

El primer ejemplo corresponde a un fragmento de una fuente cerámica procedente del Cerro de la Encina y cuya cronología se remonta al Bronce Final del Sudeste de la Península Ibérica (Dorado, 2018:12). La pieza, profundamente deteriorada y cuya decoración pictórica apenas es visible a simple vista fue sometida al flujo de trabajo desglosado anteriormente (fig. 4).

Cerámica Pintada de Tradición ibérica

La segunda réplica tiflológica generada corresponde en este caso a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del yacimiento romano de los Villares de Andújar (Jaén) (Sotomayor, 1973; Fernández-García *et al.*, 2008,



Fig. 4.—Montaje compositivo del fragmento de la fuente calcolítica procedente del Cerro de la Encina (Granada). Pieza original (izquierda) y modelo tiflológico (derecha). Figura en color en la edición electrónica.

2016; Fernández-García y Serrano, 2013; Fernández-García, 2015). En términos generales, la confección de cerámicas pintadas de tradición ibérica en el ámbito peninsular debe enmarcarse entre los últimos años del siglo I a.C. y el siglo I d.C.

En el caso concreto de la pieza elegida, siguiendo un poco la dinámica general de la producción de cerámica pintada de tradición ibérica recuperada de los vertederos del complejo alfarero de Los Villares de Andújar, el fragmento es atribuible a la primera fase productiva de los alfares isturgitanos. Es decir, una cronología que abordaría desde los años 50 al 75 d.C. teniendo, por otro lado, un ámbito de difusión circunscrito al propio núcleo urbano de Isturgi y a la campiña del Alto Guadalquivir. Un espacio, por tanto, que apenas trasciende lo puramente local (Abascal, 1992:91, 2008; Ruiz y Peinado, 2013:168; Maldonado, 2020:339-340).

La pieza fue registrada originalmente como AJ7416. Dicho fragmento conserva sólo parte de la pared, por lo que resulta complejo atribuirlo a alguna tipología específica (Ruiz y Peinado, 2013:166). Por su parte, la pasta cerámica presenta una tonalidad beige ligeramente amarillenta. Por otro lado, la decoración, que se encuentra algo deteriorada, es monocroma rojiza y, al igual que ocurría con el ejemplo anterior, este tipo de pintura resulta imposible de percibir de forma táctil por lo que se decidió, al igual que en el caso anterior, crear una réplica tiflológica en la que se realizase la decoración pictórica mediante apliques digitales y su posterior impresión 3D (fig. 5).

Jarrito Cerámico con Decoración en Manganeso

El tercer ejemplo de adaptación tiflológica es un jarrito de borde recto algo engrosado al interior, cuello recto, hombro poco pronunciado, fondo ápodo cóncavo y un asa de sección ovalada, datado entre la segunda mitad del siglo XIII e inicios del XIV (Roselló, 1978:40; Navarro, 1986a, 1986b, 1991; Azuar *et al.*, 1995; Roselló y Lerma, 1999:303-319; García, 2001:301-302; García, 2007; Salinas, 2009: 1325-1326). La pieza en concreto fue hallada en un contexto de deposición



Fig. 5.—Montaje compositivo del fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica AJ7416 procedente de los Villares de Andújar (Jaén). Pieza original (izquierda) y modelo tiflológico (derecha). Figura en color en la edición electrónica.

primaria (Bermejo, 2007: 239; González, 2017:613), en una alacena situada en las dependencias de la guarnición, en la cumbre del cerro de Mojácar la Vieja (Mojácar, Almería). Este yacimiento, que se correspondería con un gran poblado andalusí de época bajomedieval, está siendo excavado actualmente por el Laboratorio MEMO-Lab de la Universidad de Granada (Martín *et al.*, 2020).

La pieza presenta una decoración pintada en manganeso que no es palpable y solo pueden apreciarse visualmente. Por este motivo, se decidió generar una réplica tiflológica trazando apliques digitales en relieve que pudiesen ser fácilmente identificados por personas con hipovisión. A diferencia de los dos ejemplos anteriores, en este caso la base de la propuesta tiflológica no estaba conformada por un modelo fotogramétrico propiamente dicho, sino que la réplica fue creada *ex novo* a partir de documentación gráfica bidimensional. Concretamente, usando como base los dibujos vectorizados creados durante el análisis de los materiales de dicho yacimiento. En este proceso se decidió, además, de realzar la disposición decorativa de la pieza, reintegrar en el modelo impreso final algunas otras partes de la pieza deterioradas o que habían desaparecido.

Como en los dos casos anteriores, la decoración pictórica presente en este tipo de pieza resulta imposible de percibir de forma táctil. Por este motivo se decidió crear una réplica tiflológica en la que se realizase la disposición decorativa mediante apliques digitales (fig. 6).

RESULTADOS

En el artículo 2 de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social se define inclusión social como “el principio en virtud del

MOJ-VIE-19 11111-1,2,3



Fig. 6.—Montaje compositivo del jarrito con decoración pintada en manganeso. Pieza original (izquierda) y modelo tiflológico obtenido a partir de la sección digitalizada del dibujo de la pieza (derecha).
Figura en color en la edición electrónica.

cual la sociedad promueve valores compartidos orientados al bien común y a la cohesión social, permitiendo que todas las personas con discapacidad tengan las oportunidades y recursos necesarios para participar plenamente en la vida política, económica, social, educativa, laboral y cultural, y para disfrutar de unas condiciones de vida en igualdad con los demás” (Real Decreto 1/2013: art. 2).

A este respecto, y cuando hablamos de ceguera, discapacidad visual grave o deficiencia visual, hablamos de problemas visuales distintos y de diferente grado de gravedad en las que influyen patologías ópticas u otro tipo de anomalías cerebrales o musculares. En otras palabras, hacen alusión a realidades cercanas, pero diferentes, que están caracterizadas por una limitación total o muy seria de la función visual (Bourne *et al.*, 2017).

De forma más específica, podríamos referirnos a las personas ciegas o con ceguera como aquellas que no ven nada en absoluto o solamente tienen una ligera percepción de luz (pueden ser capaces de distinguir entre luz y oscuridad, pero no la forma de los objetos). Por otro lado, las personas con deficiencia visual serían aquellas que, con la mejor corrección posible y con cierta dificultad en el proceso, serían capaces de distinguir objetos situados a muy corta distancia. En el mejor de los casos, es posible que algunas de ellas puedan llegar incluso a leer la letra impresa cuando esta se dispone de una forma y tamaño suficientemente claros.

Sea como fuere, con el objetivo de hacer accesible el derecho universal al disfrute del patrimonio cultural, la Tiflogía recurre al uso de numerosas herramientas, las

cuales han ido evolucionando con el paso del tiempo para garantizar una integración laboral, social y cultural de las personas con discapacidad visual cada vez más efectiva. La fotogrametría, los programas de postprocesado y la impresión 3D se convierten aquí en unos aliados inestimables.

El objetivo que perseguimos con este artículo es el de mostrar el proceso de realizado de esta decoración para hacerla comprensible a colectivos con capacidades visuales reducidas. Para ello se trazaron apliques en relieve y de carácter digital siguiendo la disposición decorativa original de la pieza. El resultado fue la creación de una nueva entidad virtual de morfometría idéntica al artefacto real, pero, en este caso, con una disposición decorativa perceptible mediante el sentido del tacto. Para ello, siguiendo la legislación actual establecimos unas características mínimas para garantizar la correcta percepción de dichos apliques. En este sentido, actualmente no existe una regulación específica a nivel de patrimonio arqueológico, pero sí en cuanto a la señalización acústica, visual y de carácter táctil en general (BOE n.º 113 de 11/05/2007; BOE n.º 61 de 11/03/2010; ONCE, 2014). A este respecto, se recomienda que el texto en braille tenga una altura mínima con respecto a la base de 0.5 mm para que este pueda percibirse con facilidad y fluidez. Basándonos en ello, y teniendo en cuenta que la disposición de la trama decorativa puede resultar mucho más compleja que la percepción de un sistema de lectoescritura perfectamente sistematizado como el braille, establecimos una altura mínima de al menos 2 mm de altura con respecto a la base para los apliques en relieve que sustituyen a la decoración pictórica.

Adicionalmente, con el objetivo de evitar cualquier tipo de confusión por parte del usuario a la hora de distinguir la disposición morfológica original de la pieza y aquellas otras partes añadidas posteriormente mediante apliques, resultaría interesante también la presentación simultánea de una réplica tifológica adaptada y otra sin adaptar, ambas impresas en 3D para evitar el deterioro de la pieza arqueológica real. Todo ello, podría ser complementado con audioguías o cartelas en braille donde se describa de forma más detallada la pieza, su particular decoración y la presencia del relieve añadido.

Por último, debemos indicar que la utilidad de los tres casos expuestos, así como de las medidas y códigos táctiles que planteamos no ha sido aún probada en usuarios invidentes o hipovidentes debido a las restricciones sanitarias del momento en el que se han realizado estas réplicas. Pero dado que nos hemos basado en la regulación estatal y de entidades tan importantes como la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) confiamos plenamente en su funcionalidad. No obstante, ningún sistema es infalible y por ello se ha planteado como vía de futuro la realización de un estudio donde usuarios invidentes e hipovidentes hagan uso práctico de dichas réplicas. Esta experiencia y la opinión de dichos usuarios servirá para mejorar aún más la calidad de estas réplicas adaptadas afinando parámetros como la altura de los relieves, la textura de los mismos, la posible inclusión de códigos táctiles o tratamientos de la superficie para identificar colores, etc.

DISCUSIÓN

En los tres casos expuestos, el empleo de herramientas de digitalización tridimensional como la fotogrametría SfM, de forma conjunta con *softwares* de modelado y esculpido digital como Blender o los nuevos dispositivos de impresión por adición, han demostrado un extraordinario potencial de cara a su uso en la difusión y divulgación del patrimonio. Especialmente en los casos en que algunos aspectos de esas piezas no pueden ser percibidas en su forma original por determinados colectivos sociales.

La decoración de las piezas tratadas en los ejemplos anteriores se disponía, en sendos casos, de forma muy sencilla. Este hecho facilitó, sin duda alguna, todo el trabajo de modelado y esculpido digital. Sin embargo, a lo largo de la modificación de varias de estas piezas obtuvimos incontables errores en el proceso de laminado de los modelos digitales adaptados. En efecto, la unión del objeto fotogramétrico original u optimizado con los apliques digitales creados *ad hoc* en Blender, generaba defectos tipológicos en la malla digital de los modelos tridimensionales resultantes. Algunos softwares de laminado actuales como Ultimaker Cura permiten además imprimir determinados modelos fotogramétricos en bruto, sin la necesidad de optimizar y/o modificar su geometría digital, y con resultados bastante aceptables. No obstante, al incorporar elementos externos como los resaltes digitales sobre el modelo escaneado original, se hace necesaria una correcta reordenación de la malla, en ocasiones más de una vez hasta que el resultado es óptimo. El resultado por tanto es un proceso con un alto componente manual y tedioso que requiere de una fuerte inversión de tiempo. A este respecto, creemos necesario seguir profundizando en la automatización y perfeccionamiento de dichos procedimientos, con el objetivo de facilitar una aplicación más eficiente, sencilla y, sobre todo, rápida, que permita abordar colecciones y conjuntos mucho más amplios.

En general, programas como Blender o Instant Meshes permiten llevar a cabo retopologías automáticas y de forma bastante intuitiva sobre piezas originales con geometrías sencillas, pero cuyos resultados se deducen insuficientes durante su aplicación en réplicas adaptadas.

A este respecto, parece previsible que la ejecución de piezas tiflológicas con decoraciones más complejas suponga, en todo caso, un aumento de la dificultad. Esta realidad se produce, no tanto a la hora de trazar topologías eficaces y fácilmente imprimibles, sino durante el desarrollo del modelado digital. El realce de decoración pintada mediante apliques digitales reviste una dificultad directamente proporcional a la complejidad de los propios motivos pictóricos.

Las réplicas arqueológicas y, en concreto, la adaptadas tiflológicamente tienen una larga tradición de empleo dentro de la Didáctica del Patrimonio (Pous, 2002) y las actividades de difusión del mismo. La aplicación de la tecnología de documentación 3D y de las impresoras tridimensionales de fabricación por adición (FDM) propician una nueva forma de mostrar, difundir y divulgar el patrimonio que presenta considerables ventajas con respecto a los métodos tradicionales.

Las reproducciones adaptadas tiflológicamente favorecen una comprensión, por una parte, de la propia forma de la cerámica, e igualmente, de cuál ha sido la técnica empleada en su creación y decoración. Asimismo, tal y como ocurre con el tercer ejemplo que abordamos en el apartado de resultados, el jarrito procedente de Mojácar la Vieja, las nuevas materialidades concebidas mediante fotogrametría SfM e impresión 3D permiten, ya no sólo permiten intuir disposiciones pictóricas específicas, sino reintegrar algunas otras partes faltantes del objeto original y hacerlas comprensibles para un público no especializado y/o con diversidad funcional.

Este tipo de reproducciones tiene además varias ventajas en términos de coste y tiempo empleado respecto a otros métodos tradicionales de fabricación de réplicas. Primeramente, el coste material de estas es muy bajo hasta para aquellas de mayor complejidad. También el precio de los equipos empleados es cada vez menos privativo. En segundo lugar, los tiempos de toma de datos, impresión y acabado final se reducen a medida que los programas de procesamiento se optimizan y los equipos disponibles son más potentes. En otras palabras, podemos afirmar que las tecnologías de impresión disponibles a nivel usuario son cada vez más variadas, precisas y veloces. La reducción en el costo de material y tiempo a la hora de producirlos permite además que estos sean empleados en actividades interactivas y táctiles sin que la rotura de alguno de estos elementos (pese a que la impresión en PLA puede configurarse de tal forma que sea muy resistente a golpes y caídas) suponga un problema grave en términos de tiempo o recursos invertidos.

Otro factor que merece la pena destacar es el amplio abanico de aplicaciones metodológicas que posee un objeto de índole digital. En efecto, trabajar con modelos fotogramétricos permite un alto grado de reproducibilidad (Caine *et al.*, 2007; Garstki, 2017; Remondino *et al.*, 2017) y gran versatilidad a la hora de experimentar con distintas formas de reconstruir virtualmente piezas arqueológicas incompletas y generar así, previamente y sin coste adicional, distintos sistemas de adaptación tiflológica a la impresión de cada pieza. Del mismo modo, los métodos de documentación tridimensional digitales, sumados a la gran precisión de una impresora correctamente calibrada, producen réplicas de igual o mayor verosimilitud morfológica que aquellas otras realizadas de forma artesanal, con un coste de tiempo, material y esfuerzo menor y requieren además de una curva de aprendizaje considerablemente inferior (Maldonado, 2020:480). En efecto, para aquellas personas que ya están familiarizados con la fotogrametría, adquirir conocimientos básicos de modelado 3D y laminado para impresión, resulta considerablemente menos complejo que generar un aprendizaje artesanal capaz de producir réplicas con una verosimilitud morfológica similar.

En última instancia, la rápida difusión de las impresoras 3D de nivel usuario, que empiezan a estar presentes cada vez más habitualmente en centros escolares de distintos niveles educativos, así como la facilidad de difusión de las réplicas imprimibles a partir de formatos como el G-Code permitirían realizar proyectos de difusión y didáctica del patrimonio a gran escala, pero con un coste irrisorio. Todo ello permite una nueva forma de aprendizaje mucho más interactiva, accesible e inclusiva.

CONCLUSIONES

Cada vez son más las posibilidades que derivan del uso de un modelo digital obtenido, por ejemplo, a partir de técnicas como la fotogrametría SfM. La digitalización del patrimonio es una realidad cada vez más asentada en disciplinas como la Arqueología. Nacidas de esta creciente dinámica se deducen un gran número de posibilidades de análisis y difusión que van más allá del simple modelo tridimensional. El modelo fotogramétrico es, por tanto, el principio de un flujo de trabajo mucho más amplio.

En conclusión, conviene resaltar unos cuantos aspectos interesantes derivados de la producción de réplicas tiflológicas. En primer lugar, que el trabajo de topología digital es la parte más vital de todo el flujo de trabajo. Por ende, las tareas de retopología digital suponen, sin lugar a dudas, la parte más compleja y necesaria de todo el proceso de elaboración e impresión de una réplica tiflológica a partir de un modelo fotogramétrico.

En piezas con decoraciones más complejas generar apliques efectivos, fácilmente palpables y, por supuesto, imprimibles, puede suponer una tarea bastante ardua. Esto se debe, especialmente, al carácter marcadamente manual del procedimiento empleado. En este aspecto, sí que sería necesario seguir profundizando en la automatización del proceso con el objetivo de lograr resultados similares o incluso mejores a costa de una inversión de tiempo considerablemente menor.

En segundo lugar, aunque las piezas resultantes de este largo flujo metodológico no pueden, ni pretenden, en ningún caso sustituir al objeto original, se convierten en inestimables aliados en la lucha por la accesibilidad del conocimiento histórico y arqueológico a toda la sociedad, en especial a los colectivos con divergencias funcionales.

Como bien universal que es, el patrimonio, en todas sus variantes, debe ser accesible a cualquier grupo social, independientemente de su situación, habilidades o ubicación geográfica. A este respecto, las técnicas de digitalización como el láser escáner (Kadobayashi *et al.*, 2004; Lambers *et al.*, 2007; Grussenmeyer *et al.*, 2008; Bruno *et al.*, 2010; Remondino, 2011; Fau *et al.*, 2016; Benavides, 2017) y la fotogrametría SfM en combinación con las nuevas herramientas y dispositivos de impresión 3D, se convierten en aliados inestimables para la difusión y accesibilidad del pasado y el patrimonio.

Los resultados de toda disciplina científica deben repercutir en la sociedad que los genera. Esta afirmación es aún más cierta en el caso de las Ciencias Sociales y Humanas que tienen como objeto de estudio las sociedades humanas. Un claro ejemplo de ello es la disciplina arqueológica. No podemos estudiar las sociedades pasadas ignorando a las actuales, por lo que es cada vez más necesario que apostemos por una Arqueología social, comunitaria y pública en la que el conocimiento sobre el pasado se construya teniendo en cuenta que debe ser accesible a toda la sociedad (Ascherson, 2000; Moshenska, 2009, 2017; Richardson, 2013; Bonacchi *et al.*, 2014; Bonacchi, 2017; Delgado, 2017:117-127; Grima, 2017; Tully, 2019). Con este objetivo en mente, que permitirá generar una mayor conciencia y

exigencia social del respeto al patrimonio, bien común, las nuevas tecnologías de digitalización e impresión 3D se muestran como herramientas de enorme utilidad para que el patrimonio arqueológico sea accesible a todos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABASCAL, J. M. (1992): “La cerámica pintada de tradición indígena en las áreas ibéricas de la Hispania romana”, *Les ceràmiques de tècnica ibèrica a la Catalunya romana (segles II a.C.-I d.C.)*, Societat Catalana d’Arqueologia, Barcelona, pp. 91-96. <http://hdl.handle.net/10045/9310>
- ABASCAL, J. M. (2008): “Las cerámicas ‘Tipo Clunia’ y otras producciones pintadas hispanorromanas”, *Cerámicas hispanorromanas: un estado de la cuestión* (D. Bernal y A. Ribera, eds.), Universidad de Cádiz, Cádiz, pp. 429-444.
- ADAMS, J., BECKER, S., CUMMINS, M., ESTRADA, V., FREEMAN, A. y HALL, C. (2016): *NMC Informe Horizon 2016 Edición Superior de Educación*, The New Media Consortium, Austin.
- ASCHERSON, N. (2000): “Editorial”, *Public Archaeology* 1:1, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1179/pua.2006.5.4.209>
- AZUAR, R., BORREGO, M., MART, J., NAVARRO, C., PACUAL, J., SARANOVA, BURGUERA, V. y GISBERT, J.A. (1995): “Cerámica tardoandalusí del País Valenciano (primera mitad del siglo XIII)”, *Actes du 5ème Colloque sur la céramique médiévale en Méditerranée occidentale, Rabat 11-17 novembre 1991* (R. El Hraiki, y E. Erbatí, eds.), Institut National des Sciences de l’archéologie et du patrimoine, Rabat, pp. 140-161.
- BENAVIDES, J. A. (2017): *Nuevas Tecnologías aplicadas a la Documentación Gráfica del Patrimonio*, Tesis doctoral inédita, Universidad de Granada, Granada. <http://hdl.handle.net/10481/47477>
- BENAVIDES, J. A., MARTÍN, J. M. y ROUCO, J. (2020): “Levantamiento arquitectónico y análisis arqueológico del castillo de Piñar como punto de partida para su conservación”, *Virtual Archaeology Review* 11:22, pp. 95-115. <https://doi.org/10.4995/var.2020.12397>
- BERMEJO, J. (2007-2008): “Arqueología de las actividades domésticas: una propuesta metodológica para el mundo romano”, *Anales de Prehistoria y Arqueología* 23-24, pp. 231-251.
- BHARGAVA, N., BHARGAVA, R., y TANWAR, P. (2013): “Triangulated Irregular Network Model from Mass Points”, *International Journal of Advanced Computer Research* 3:2, pp. 172-176.
- BLENDER FOUNDATION (1998): *Blender*.
- BONACCHI, C. (2017): “Digital Media in public archaeology”, *Key Concepts in Public Archaeology* (G. Moshenska, ed.), UCL Press, London, pp. 60-72.
- BONACCHI, C., BEVAN, A., PETT, D., KEINANSCHOONBAERT, A., SPARKS, R., WEXLER, J. y WILKIN, N. (2014): “Crowd-sourced Archaeological Research: The MicroPasts Project”, *Archaeology International* 17, pp. 61-68. <https://doi.org/10.5334/ai.1705>
- BOURNE, R. R. A., FLAXMAN, S. R., BRAITHWAITE, T., CICINELLI, M. V., DAS, A., JONAS, J. B., KEEFFE, J., KEMPEN, J. H., LEASHER, J., LIMBURG, H., NAIDOO, K., PESUDOVS, K., RESNIKOFF, S., SILVESTER, A., STEVENS, G. A., TAHHAN, N., WONG, T. Y. y TAYLOR, H. R. (2017): Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis, *The Lancet Global Health* 5:9, e888-e897. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30293-0)
- BRAAM, D. (2017): *Ultimaker Cura*.
- BRUNO, F., BRUNO, S., DE SENSI, G., LUCHI, M. L., MANCUSO, S. y MUZZUPAPPA, M. (2010): “From 3D Reconstruction to Virtual Reality: A Complete Methodology for Digital Archaeological Exhibition”, *Journal of Cultural Heritage* 11:1, pp. 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.02.006>

- BURDICK, A., DRUCKER, J., LUNENFELD, P. y SCHNAPP, J. (2012): *Digital Humanities*, Massachusetts Institute of Technology, Boston.
- CABERO, J. (2000): “La aplicación de las TIC. ¿Esnobismo o necesidad educativa?”, *Red Digital, en línea* 15. Recuperado de http://reddigital.cnice.mec.es/1/firmas/firmas_cabero_ind.html [último acceso 30/05/2020]
- CAINE, A., FINDLAY, C. y HOWELL, A. (2007): *Preservation Solutions Australia* Ed UNESCO, Noumea.
- CANESSA, E., FONDA, C. y ZENNARO, M. (2013): *Low-Cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development*. <http://sdu.ictp.it/3D/>
- DELGADO, L. (2017): *Gestión, comunicación y participación social en los paisajes culturales de Andalucía: El caso del Proyecto MEMOLA*, Tesis doctoral inédita, Universidad de Granada, Granada. <http://hdl.handle.net/10481/47164>
- DEY, S. (2018): “Potential and limitations of 3D digital methods applied to ancient cultural heritage: insights from a professional 3D practitioner”, *Digital Imaging of Artefacts: Developments in Methods and Aims*, Archaeopress, Summertown, pp. 5-35.
- DORADO ALEJOS, A. (2018): “El análisis de imagen como aportación metodológica al estudio de las cerámicas pintadas de la Prehistoria reciente: casos de estudio desde el sudeste de la Península Ibérica”, *Arqueología Iberoamericana* S2, pp. 9-14.
- FAU, M., CORNETTE, R. y HOUSSAYE, A. (2016): “Photogrammetry for 3D digitizing bones of mounted skeletons: Potential and limits Apport de la photogrammétrie à la numérisation 3D d’os de spécimens montés: potentiel et limites”, *Comptes rendus - Palevol* 15:8, pp. 968-977. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2016.08.003>
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. I. (2015): “El centro de producción de terra sigillata hispánica de Los Villares de Andújar, Jaén, España”, *Terra Sigillata Hispánica: 50 años de Investigaciones* (M.^a I. Fernández-García, P. Ruiz y M.^a V. Peinado, eds.). Quasar, Roma, pp. 57-84.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. I., RUIZ, P. y PEINADO, M.^a V. (2008): “El Proyecto Isturgi: reformularse o morir”, *Boletín Instituto de Estudios Giennenses* 198, pp. 173-188.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. I., RUIZ, P. y PEINADO, M.^a V. (2016): “Alfares y producción de cerámicas (siglos I a.C.- V d.C.)”, *Las Villas Romanas de la Bética* (R. Hidalgo Prieto, ed.), Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 345-388.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M.^a I. y SERRANO, B. (2013): “Estructuras humanas de producción”, *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España)* (M.^a I. Fernández-García, ed.), Quasar, Roma, pp. 91-108.
- DE FLORIANI, L. y MAGILLO, P. (2009): “Triangulated Irregular Network”, *Encyclopedia of Database Systems* (L. Liu y M. T. Özsu, eds.), Springer, New York, pp. 3178-3179. https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_437
- GALINA, I. (2011): “¿Qué son las Humanidades Digitales?”, *Revista Digital Universitaria* 12:7, pp. 3-8.
- GARCÍA, A. (2001): *La cerámica del poblado fortificado medieval de “El castillejo” (Los Guajares, Granada)*, Athos-Pérgamos, Granada.
- GARCÍA, A. (2007): “La distribución de productos cerámicos entre la época almohade y la nazarí. El caso del Castillejo (Los Guajares, Granada)”, *Arqueoweb* 9:1.
- GARSTKI, K. (2017): “Virtual Representation: the Production of 3D Digital Artifacts”, *Journal of Archaeological Method and Theory* 24:3, pp. 726-750. <https://doi.org/10.1007/s10816-016-9285-z>
- GONZÁLEZ, J. A. (2017): *Arqueología de la producción en el Sureste de la península Ibérica durante la Baja Edad Media: los materiales cerámicos del castillo de Lorca*, Tesis Doctoral inédita, Universidad de Murcia, Murcia.
- GONZÁLEZ-BLANCO, E. (2016): “Un nuevo camino hacia las humanidades digitales: el Laboratorio de Innovación en Humanidades Digitales de la UNED (LINHD)”, *Signa: Revista de la Asociación Española de Semiótica* 25, pp. 79-93. <https://doi.org/10.5944/signa.vol25.2016.16959>
- GRIMA, R. (2017): “Presenting archaeological sites to the public”, *Key Concepts in Public Archaeology* (G. Moshenska, ed.), UCL Press, London, pp. 73-92.
- GRUSSENMEYER, P., LANDES, T., VOEGTLE, T. y RINGLE, K. (2008): “Comparison Methods

- of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings”, *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37:B5, pp. 213-218.
- HOCKEY, S. (2004): “The History of Humanities Computing”, *Companion to Digital Humanities* (S. Schreibman, R. Siemens y J. Unsworth, eds.), Blackwell Publishing, Maiden, pp. 1-19. <https://doi.org/10.1002/9780470999875.ch1>
- JAKOB, W., TARINI, M., PANOZZO, D. y SORKINE-HORNUNG, O. (2015): “Instant field-aligned meshes”, *ACM Transactions on Graphics* 34:6, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1145/2816795.2818078>
- JONES, R., HAUFE, P., SELLS, E., IRAVANI, P., OLLIVER, V., PALMER, C. y BOWYER, A. (2011). “RepRap – the replicating rapid prototyper”, *Robotica* 29, pp. 177-191.
- KADOBAYASHI, R., KOCHI, N. y FURUKAWA, R. (2004): “Comparison and Evaluation of Laser Scanning and Photogrammetry and Their Combined Use for Digital Recording of Cultural Heritage”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 35:5, pp. 401-406.
- LAMBERS, K., EISENBEISS, H., SAUERBIER, M., KUPFERSCHMIDT, D., GAISECKER, T., SOTOODEH, S. y HANUSCH, T. (2007): “Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto (Palpa, Peru)”, *Journal of Archaeological Science* 34:10, pp. 1702-1712. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.12.008>
- 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 de Pequeño y Mediano Tamaño*, Tesis doctoral inédita, Universidad de Granada, Granada.
- MALDONADO RUIZ, A. y FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. I. (2020): “Técnicas de digitalización, reconstrucción y visualización 3D aplicadas a los moldes de terra sigillata del yacimiento romano de Los Villares de Andújar (Municipio Isturitano). Las posibilidades en la difusión, estudio y conservación del patrimonio arqueológico”, *Pyrenae* 51:2, pp. 159-179.
- MARSON, N., DIAZ-NOCERA, A., REAL, J. P. y PALMA, S. (2016): “Las impresoras 3D y el diseño de medicamentos”, *Bitácora Digital* 3:7, pp. 1-4.
- MARTÍN, J. M.^a, ROMÁN, J. M., ROUCO, J., ROMERO, P., ABELLÁN, J., RAMOS, B., MORENO, J. M.^a y GARCÍA, R. (2019): *Excavación arqueológica mediante sondeos en el yacimiento arqueológico de Mojácar la Vieja (Mojácar, Almería). Campaña de 2019*, Informe preliminar, Delegación de Almería de Cultura y Patrimonio Histórica de Almería, Junta de Andalucía.
- MCGIMSEY, C. (1972): *Public Archaeology*, Seminar Press, London.
- INSTANT MESHES (2015): *Instant Meshes*.
- MOSHENSKA, G. (2009): “What is Public Archaeology?”, *Present Pasts* 1, pp. 46-48.
- MOSHENSKA, G. (2017): *Key Concepts in Public Archaeology*, UCL Press, London.
- NAVARRO, J. (1986a): *La cerámica esgrafiada andalusí de Murcia*, Publications Casa de Velázquez, Madrid. <http://hdl.handle.net/10261/13823>
- NAVARRO, J. (1986b): *La cerámica islámica en Murcia*, Ayuntamiento de Murcia, Murcia.
- NAVARRO, J. (1991): *Una casa islámica en Murcia: estudio de su ajuar (siglo XIII)*, Ayuntamiento de Murcia, Murcia.
- ONCE (2014). *Parámetros dimensionales del Braille*. Madrid: Comisión Braille Española, Organización Nacional de Ciegos Españoles.
- Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados, BOE n.º 61, de 11 de marzo de 2010, 24563-24591.
- PERROT, A., RANGEARD, D. y PIERRE, A. (2016): “Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques”, *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 49:4, pp. 1213-1220. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0571-0>
- POUS, A. M. (2003): “Copias y reproducciones de piezas arqueológicas: resumen histórico y función en los museos”, *Actas de los XIII Cursos Monográficos sobre el Patrimonio Histórico*

- (*Reinosa, julio-agosto 2002*), Universidad de Cantabria, Santander, pp. 31-40.
- PRESNER, T., SCHNAPP, J. y LUNENFELD, P. (2009): "The Digital Humanities Manifesto", *Context*. <http://tcp.hypotheses.org/411> [último acceso 30/05/2020]
- Real Decreto 505/2007, de 20 de abril, por el que se aprueban las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados y edificaciones, BOE n.º 113 de 11 de mayo de 2007, 20384-20390.
- REILLY, P. (1991): "Towards a Virtual Archaeology", *CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990* (S. Rahtz, S. y K. Lockyear, eds.), BAR, Oxford, pp. 132-139.
- REMONDINO, F. (2011): "Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning", *Remote Sensing* 3, pp. 1104-1138. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>
- REMONDINO, F. y CAMPANA, S. (2014): *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*, BAR, London. <https://doi.org/10.1177/0959683614545031>
- REMONDINO, F., NOCERINO, E., TOSCHI, I. y MENNA, F. (2017): "A critical review of automated photogrammetric processing of large datasets", *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 42 (2W5), pp. 591-599. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-591-2017>
- Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social, BOE n.º 289, de 3 de diciembre de 2013, 95635-95673.
- RENGIER, F., MEHNDIRATTA, A., VON TENGGKOBLOGK, H., ZECHMANN, C. M., UNTERHINNINGHOFEN, R., KAUCZOR, H. U. y GIESEL, F. L. (2010): "3D printing based on imaging data: Review of medical applications", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 5:4, pp. 335-341. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0476-x>
- RICHARDSON, L. (2013): "A Digital Public Archaeology?", *Papers from the Institute of Archaeology* 23:1, 10. <https://doi.org/10.5334/pia.431>
- ROJAS, A. (2013): "Las Humanidades Digitales: principios, valores y prácticas", *Janus* 2, 74-99.
- ROMERO, E. (2014): "Ciencias Sociales y Humanidades Digitales: una visión introductoria", *Ciencias Sociales y Humanidades Digitales. Técnicas, herramientas y experiencias de e-Research e investigación en colaboración (Cuadernos Artesanos de Comunicación, 61)* (E. Romero y M. Sánchez, eds.), Sociedad Latina de Comunicación Social, La Laguna, pp. 19-50.
- ROSENDAL, T. (1998): *Blender*.
- ROSSELLÓ, G. (1978): *Ensayo de sistematización de la cerámica árabe en Mallorca*. Palma de Mallorca.
- ROSSELLÓ, G. y LERMA, J.V. (1999): "El Vall Vell de Valencia: Un registro cerámico excepcional de los siglos XIII-XIV", *Arqueología y territorio medieval* 6, pp. 303-319.
- ROUCO, J., MARTÍN, J. M. y BENAVIDES, J. A. (2018): "Análisis arqueológico de la torrepuerta de la alcazaba de Guadix (Granada)", *Arqueología de la Arquitectura* 15, e072. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2018.010>
- ROUCO, J., MARTÍN, J. M.ª y BENAVIDES, J. A. (2020), "Building Archaeology of the Alcazaba of Guadix (Granada, Spain): An Example of Implanting Power in the Urban Centres of al-Andalus", *International Journal of Architectural Heritage*. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1719231>
- ROUCO, J., BENAVIDES, J. A. y MARTÍN, J. M. (2020): "Falling from the sky. Aerial photogrammetry and LiDAR applied to the Archaeology of Architecture and Landscape: two fortifications from the Alpujarra (Granada, Spain)", *Studies in archaeometry. Proceedings of the archaeometry symposium at NORM 2019, June 16-19, Portland, Oregon, Portland State University. Dedicated to the Rev. H. Richard Rutherford, C.S.C., Ph.D* (M. Ramírez y R. S. Bard. eds.), Archaeopress, Oxford, pp. 87-174.
- RUIZ, P. y PEINADO, M.ª V. (2013): "Cerámica pintada de tradición ibérica", *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero*

- de Los Villares de Andújar (Jaén, España)* (M.ª I. Fernández-García, ed.). Quasar, Roma, pp. 163-172.
- SALINAS, E. (2010): "La cerámica tardoalmojada en Córdoba y su relación con el suroeste peninsular", *IV Encuentro de Arqueología del Suroeste Peninsular* (J. A. Pérez y E. Romero, eds.), Universidad de Huelva, Huelva, pp. 1316-1335.
- SAORÍN, J. L., MEIER, C., DE LA TORRE-CANTERO, J., CARBONELL-CARRERA, C., MELIÁN-DÍAZ, D. y BONNET, A. (2017): "Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D", *Edmetic* 6:2, pp. 27-46. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v6i2.6187>
- SCHADLA-HALL, T. (1999): "Editorial: Public Archaeology", *European Journal of Archaeology* 2:2, pp. 147-158.
- SCHREIBMAN, S., SIEMENS, R. y UNSWORTH, J. (2004). *A Companion to Digital Humanities*, Blackwell, Oxford. <https://doi.org/10.1002/9780470999875>
- SOTOMAYOR MURO, M. (1973): "Centro de producción de sigillata de Andújar (Jaén)", *XII Congreso Nacional de Arqueología (Jaén, 1971)*, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp. 689-698.
- TULLY, G. (2019): "Skills, ethics and approaches: An introduction to 'the basics' of participatory archaeology", *PCA European Journal of Post-Classical Archaeologies* 9, pp. 35-60.
- ZENNARO, M. (2013): "The Role of Open Source Software and Hardware in the 3D Printing Revolution", *Low-Cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development* (E. Canessa, C. Fonda y M. Zennaro, eds.), The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, pp. 61-66.