

# NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL PATRIMONIO CULTURAL

En este espacio se presentan las tecnologías aplicadas al patrimonio cultural, desde la documentación digital hasta la restauración digital, pasando por la gestión de colecciones y la difusión digital. El objetivo es mostrar cómo estas tecnologías están transformando la manera en que gestionamos y difundimos nuestro patrimonio cultural.



## UN LEGADO MILENARIO EN 3D. GDH Y LA DIGITALIZACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE CIUDAD REAL

Víctor Manuel López-Menchero Bendicho

Herbert D. G. Maschner

James Bart McLeod

Jeffrey P. Du Vernay

Matthew L. Vincent

Miguel Ángel Hervás Herrera

Global Digital Heritage Inc., Gulfport, USA

### Introducción

La provincia de Ciudad Real está integrada por 102 municipios siendo la tercera provincia más extensa de toda España, con 19.813 km<sup>2</sup> de superficie. Sin duda, su gran extensión influye de forma directa en su innegable riqueza patrimonial, especialmente aquella de índole arqueológica, habiéndose catalogado hasta la fecha centenares de yacimientos. Desde hace décadas en su territorio se vienen realizando importantes hallazgos arqueológicos, especialmente en los últimos cuarenta años, habiéndose consolidado numerosos grupos de investigación, de dentro y fuera de la región, que mantienen una actividad constante. El Museo de Ciudad Real, por su parte, actúa como centro de referencia para la conservación y divulgación de los descubrimientos realizados, impulsando también la investigación. La repercusión mediática de estos trabajos alcanza de forma habitual el ámbito nacional, y son muchos los investigadores y ciudadanos que se interesan por conocer tanto los yacimientos y monumentos de la provincia, como los objetos aparecidos en el transcurso de las excavaciones. Se ha generado, por tanto, una demanda que reclama una mayor accesibilidad física a este patrimonio. Lógicamente, no todos los objetos pueden quedar expuestos al público, o al menos, no al mismo tiempo. Tampoco es especialmente deseable que dichos objetos sufran constantes manipulaciones vinculadas con su estudio para distintos trabajos. En este sentido, las nuevas tecnologías nos ofrecen nuevas posibilidades de difusión y conservación del patrimonio.

La digitalización 3D de los objetos arqueológicos permite su difusión 24 horas al día 365 días al año, sin importar su tamaño o su número, siendo posible exponer cientos o miles de artefactos al mismo tiempo. La creación de gemelos digitales también implica una estrategia de conservación digital de los objetos. Debemos recordar que el patrimonio cultural, mueble o inmueble, está sometido a diversas amenazas como terremotos, ma-

Figura 1.  
Presentación del Convenio  
entre Global Digital  
Heritage y la Junta de  
Comunidades de  
Castilla-La Mancha.



remotos, huracanes, incendios, terrorismo, vandalismo, expolio, guerras... Así por ejemplo, el incendio ocurrido en 2018 en el Museo Nacional de Brasil provocó la destrucción de 20 millones de objetos (Campos & Damasceno, 2020). En casos como este, desaparecen los objetos materiales, pero queda como testigo de su existencia la documentación gráfica. Cuanto mejor sea esa documentación, menor será la pérdida sufrida, siendo conscientes de que la destrucción de cualquier bien cultural es irreversible, al tratarse de recursos no renovables. Desde este punto de vista, la creación de gemelos digitales precisos aporta una valiosa documentación del patrimonio y permite disponer de un número ilimitado de copias digitales de seguridad, más difíciles de destruir, ya que pueden ser almacenadas en múltiples lugares, tanto online como offline. Consecuentemente, la digitalización 3D del patrimonio cultural debería formar parte de las medidas preventivas de las instituciones culturales ante posibles catástrofes y amenazas (Maschner, 2019).

Para aprovechar todas las ventajas que los avances tecnológicos nos ofrecen, en el año 2017 se forjó una alianza estratégica entre la entidad sin ánimo de lucro estadounidense Global Digital Heritage (GDH) y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM), con el objetivo de digitalizar el mayor número posible de objetos arqueológicos, yacimientos y monumentos de la región. Dicha alianza se vio reforzada mediante la firma de un convenio de colaboración en el año 2020, que ha permitido agilizar y acelerar los trabajos.

En estos años se ha trabajado en numerosas campañas de digitalización 3D en Castilla-La Mancha, especialmente en la provincia de Ciudad Real, donde se han concentrado la mayor parte de los esfuerzos, llegando a generar cerca de 1.000 modelos 3D, que posicionan a este territorio como un referente en el campo del patrimonio digital a nivel internacional.

## **Metodología**

Por cuestiones metodológicas y prácticas los trabajos de digitalización se han desarrollado de manera independiente entre yacimientos arqueológicos y colecciones de museo.

Para el caso de los museos la técnica prioritaria de documentación 3D empleada ha sido la fotogrametría, por lo que el equipo de trabajo ha estado compuesto por 2 cámaras Canon EOS 5D Mark IV (sensor de 30.4 MP) con lentes Canon EF 100mm F/2.8 Macro, Canon EF 50mm F1.4 y Sigma 35 mm F1.4 DG. En el caso de los objetos de pequeño y mediano tamaño (inferior a los 50 cm) se han utilizado cajas de luz plegables de la compañía Orangemonkie. Las cajas de luz incluyen una tabla giratoria Foldio360 que permite automatizar el proceso de toma de imágenes mediante una conexión por Bluetooth con la cámara y el teléfono móvil, lo que reduce notablemente los tiempos de trabajo. El teléfono móvil actúa como control remoto tanto de la cámara como de la tabla giratoria gracias a la aplicación gratuita de Foldio360 que permite controlar un conjunto de parámetros básicos. La aplicación también permite fijar el número de fotografías por ronda. Para lograr el máximo solapamiento posible entre las imágenes se han tomado 48 fotografías por cada ronda. Según la complejidad del objeto se han realizado entre 5 y 15 rondas, lo que equivale a la toma de entre 240 y 720 fotografías por pieza. Por su parte, los objetos de mayor tamaño y peso, tales como mosaicos, estelas, capiteles, inscripciones, etc., han sido digitalizados mediante el uso de focos portátiles.

En lo que respecta a los yacimientos arqueológicos y monumentos se ha tendido al uso combinado de fotogrametría y escáner láser 3D, especialmente en aquellos más complejos. Para ello se han empleado dos escáneres FARO Focus S70 que permiten capturar más de 100.000 puntos por segundo con una precisión de +/- 1 mm. En el caso de la fotogrametría, se ha escogido el uso combinado de fotogrametría terrestre mediante cámaras réflex Sony A7 y Canon Mark IV, y de fotogrametría aérea, mediante la utilización de un dron Phantom 4 Pro Plus.

Debido al gran volumen de datos generados, tanto en los museos como en los yacimientos, se ha optado por utilizar preferentemente el software Reality Captu-



Figura 2.  
Equipo de trabajo  
empleado  
en el Museo Municipal  
de Valdepeñas

re para su procesado. Reality Capture permite cargar tanto escaneos láser como fotografías, siendo su velocidad de trabajo hasta diez veces superior a la de otros programas, característica que resulta crucial cuando se persigue trabajar en el ámbito de la digitalización masiva.

Todos los modelos 3D de los yacimientos, monumentos y objetos digitalizados en la provincia de Ciudad Real se han puesto a disposición de los ciudadanos a través de la popular plataforma Sketchfab, para su visualización, usando para ello la cuenta que GDH posee en la misma (<https://sketchfab.com/GlobalDigital-Heritage>). Sketchfab cuenta con 5 millones de modelos 3D y más de 10 millones

de usuarios en todo el mundo, lo que la convierten en la plataforma de referencia para el campo del 3D. Lo mismo sucede en el ámbito del patrimonio digital. Actualmente, la plataforma contiene más de 200.000 modelos en la categoría de Patrimonio Cultural e Historia, siendo el mayor repositorio del mundo de modelos culturales 3D (Statham, 2019: 9-11, Champion & Rahaman, 2020). Sketchfab permite almacenar y visualizar modelos 3D de manera muy intuitiva, sin necesidad de instalar ningún programa y de forma gratuita. Aunque se trata de una solución comercial, hasta el momento ha otorgado grandes facilidades a los museos y al sector cultural por lo que su uso se ha extendido con rapidez.

Para garantizar la máxima accesibilidad al patrimonio, todos los modelos 3D elaborados por GDH se pueden también descargar de manera gratuita, siempre y cuando se usen con fines no comerciales (Creative Commons Attribution-Non-Commercial CC BY-NC 4.0). Con esos archivos, cualquier institución o persona puede obtener réplicas físicas usando impresoras 3D. Las réplicas físicas se pueden emplear, por ejemplo, en los colegios o instituciones educativas o para facilitar el acceso al patrimonio a las personas invidentes, que pueden de esta forma tocar las réplicas de los objetos o yacimientos arqueológicos como ya han comenzado a testar en la Motilla del Azuer (Daimiel). La posibilidad de descargar los modelos 3D también permite abrir estos archivos en programas gratuitos como Meshlab o Blender donde se pueden aplicar un gran número de opciones para analizar con más detalle los objetos, como por ejemplo modificar las condiciones de iluminación o aplicar algunos filtros para realzar los detalles. Por lo tanto, es también una forma de promover la investigación.

A diferencia de otros proyectos, en este caso, la utilización y reutilización de los modelos y de sus productos derivados no solamente es posible, sino que forma parte de los objetivos mismos del trabajo. De esta forma, ya se han desarrollado colaboraciones institucionales altamente satisfactorias, como la llevada a cabo en el nuevo Centro de interpretación del Molino Manchego de Campo de Criptana (Hervás y Sánchez, 2022), en el proyecto de Realidad Virtual inmersiva «Motilla Virtual» de Daimiel (Torres et al., 2021; 2022), en el proyecto para la reconstrucción virtual y generación de una maqueta impresa del castillo de Salvatierra o en la propia exposición de «Atempora Ciudad Real 2023. Un legado de 350.000 años» mediante la realización del video que bajo el título «Un legado milenario en 3D» muestra al visitante una selección de yacimientos y objetos arqueológicos digitalizados de la provincia de Ciudad Real.

Es importante señalar que las fotografías obtenidas durante los trabajos de digitalización poseen un gran valor documental. En primer lugar, porque permiten

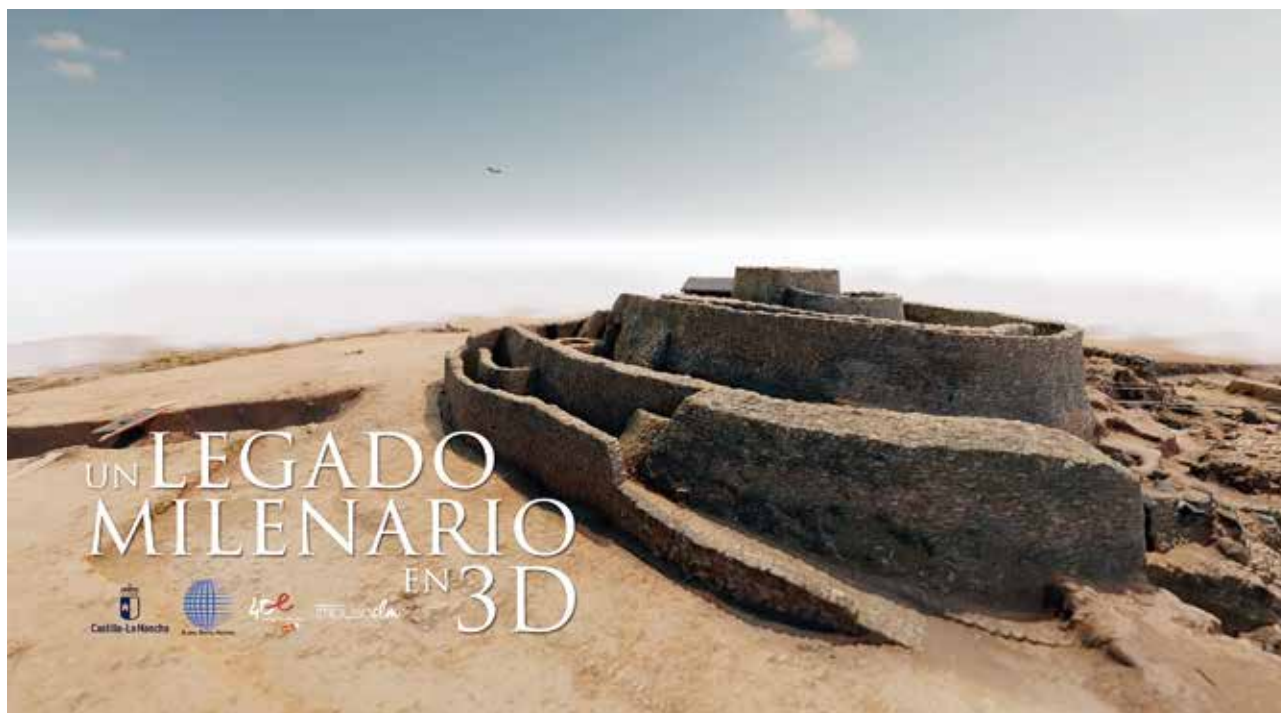


Figura 3.  
Portada del audiovisual  
«Un legado milenario en 3D»  
incluido en la  
exposición Atempora  
Ciudad Real 2023

disponer de fotografías convencionales de todos los detalles de los yacimientos y objetos arqueológicos desde todos los ángulos posibles en un formato 2D que puede abrirse desde cualquier ordenador sin necesidad de programas o visores especiales, ya que se trata de sencillos archivos JPEG. Supone, en este sentido, una valiosa documentación digital. En segundo lugar, porque los programas de fotogrametría se encuentran en constante fase de mejora. Tan solo en los últimos 20 años se ha vivido una auténtica revolución, pasando de programas en los que manualmente había que enlazar unas fotografías con otras, a programas que pueden conectar en pocos minutos cientos de fotografías de manera automática. Estos grandes avances han demostrado que con las mismas fotografías es posible obtener mejores modelos 3D (Marqués, 2020). La posibilidad de reprocesar las mismas imágenes en el futuro para obtener modelos de mayor calidad nos anima a almacenar y conservar todas las fotografías, tanto en formato RAW como JPEG, por el valor documental que guardan en sí mismas y ante la convicción de que permitirán ahorrar manipulaciones innecesarias de los objetos originales, no siendo imprescindible volver a someterlos a procesos de digitalización, salvo cuando existan causas justificadas.



## Conclusión

La digitalización 3D del patrimonio arqueológico crece a una velocidad vertiginosa en todo el mundo. Algo que podemos comprobar analizando el incremento del volumen de modelos 3D disponibles en la plataforma Sketchfab, en la categoría de Patrimonio Cultural e Historia, donde entre 2019 y 2023 se ha duplicado su número. Así, en el año 2019 se alcanzaron los 100.000 modelos 3D, y tan solo 4 años después, en 2023 y pese a la pandemia, los números se han duplicado hasta superar los 200.000 modelos (Flynn, 2019). Estas cifras están relacionadas con el creciente incremento de grupos de investigación, empresas y profesionales que trabajan en este nuevo campo. Sin embargo, muchos de estos proyectos poseen objetivos demasiado específicos, en algunos casos por falta de financiación suficiente, en otros casos porque se engloban en el marco de proyectos de investigación más amplios para los que la digitalización 3D constituye tan solo una parte secundaria de los objetivos fijados. Por otro lado, muchos proyectos solamente divulgan sus resultados en congresos y revistas científicas especializadas, pero en rara ocasión facilitan el acceso a los modelos 3D de manera libre y gratuita, lo que a medio y largo plazo está provocando pérdidas irreparables de información. También es habitual que los resultados se vinculen a las páginas web de los proyectos, cuya duración suele ser de unos pocos años, por lo que, de nuevo, se producen pérdidas irreparables de información. En otras ocasiones, solo se permite la visualización de los modelos, sin ofrecer la posibilidad de descarga gratuita, lo que impide que se puedan generar nuevas copias en otros lugares, además de limitar su potencial de uso por parte de otras entidades o personas.

Sin embargo, los trabajos de digitalización en la provincia de Ciudad Real se han planteado desde otra perspectiva. Por un lado, aprovechamos el notable desarrollo y madurez que la tecnología 3D ha alcanzado en la actualidad para afrontar la digitalización de cientos de objetos y yacimientos, sin importar su antigüedad, forma, tamaño, extensión o material. La digitalización no se vincula a un proyecto de investigación arqueológica específico, sino que persigue generar un gemelo digital de los objetos y yacimientos más importantes y representativos de toda la arqueología de Ciudad Real. Por otro lado, los modelos 3D quedan a disposición de todo el mundo a través de la plataforma Sketchfab de manera libre y gratuita, lo que aumenta las posibilidades de supervivencia a largo plazo de la información. No obstante, también es posible visualizar los modelos 3D desde el Portal de Cultura de Castilla-La Mancha, una web institucional mucho más estable que las habituales webs de los proyectos.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta a la hora de valorar los resultados obtenidos es la visibilidad a nivel internacional que han alcanzado estos modelos,





Figura 4.  
Modelos 3D  
de la provincia de  
Ciudad Real elaborados  
por GDH que han  
alcanzado el Top 10  
semanal en la  
plataforma Sketchfab

y por ende el propio patrimonio cultural de Ciudad Real, como queda patente en el elevado número de piezas y monumentos incluidos en el Top 10 semanal que elabora Sketchfab dentro de la categoría Cultural Heritage & History. En total se trata de 8 modelos correspondientes con: Torre de rueda de hueso de Calatrava la Vieja (Carrión de Calatrava), Anillo de oro del yacimiento de Las Zanzas (Alcubillas), Moneda romana (denario) de plata de la Finca Las Navas (Almadenejos), Orza vidriada islámica de Calatrava la Vieja (Carrión de Calatrava), Soporte de cerámica ibérica del Cerro de las Cabezas (Valdepeñas), Puente neoclásico de Juan de Villanueva en Alameda de Cervera (Alcázar de San Juan), Fuente de la diosa Fortuna, conocida como La Manola (Daimiel) y Urna ibérica del Cerro de las Cabezas (Valdepeñas). A este listado, habría que añadir aquellos modelos que han alcanzado la categoría de 'staff pick', es decir que han destacado entre todas las categorías existentes en la plataforma y no únicamente en la correspondiente con Patrimonio Cultural. Se trata de los modelos 3D de la Motilla del Azuer (Daimiel), la Iglesia Medieval de Calatrava la Nueva (Aldea del Rey) y el Puente neoclásico del Vado Lancero (Alameda de Cervera, Alcázar de San Juan).

En resumen, con los trabajos desarrollados durante estos años en Ciudad Real queda demostrado que la digitalización masiva de yacimientos y colecciones arqueológicas en formato abierto es posible. Ciudad Real constituye un claro ejemplo para otros territorios, como ha quedado de manifiesto en el proyecto europeo «Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage», que lo ha seleccionado como un caso de éxito, junto con otros 17 proyectos desarrollados por toda Europa. La concesión en el año 2022 de la Medalla al Mérito Cultural de Castilla-La Mancha a Global Digital Heritage, no hace sino confirmar y consolidar la idea de que nos encontramos ante una iniciativa fructífera al servicio del patrimonio y de los ciudadanos. Una iniciativa necesaria para poder conservar y difundir un legado milenario en 3D. ■■■

## Agradecimientos

Todos los trabajos que se han llevado a cabo hasta la fecha se han realizado en plena coordinación y cooperación con la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, siendo especialmente determinante la visión estratégica de la Viceconsejera de Cultura, Dña. Ana Muñoz Muñoz. Así mismo, queremos mostrar nuestro más sincero agradecimiento a los ayuntamientos de Alcázar de San Juan, Aldea del Rey, Almagro, Calzada de Calatrava, Campo de Criptana, Carrión de Calatrava, Ciudad Real, Daimiel, Granátula de Calatrava, Manzanares, Montiel, Picón, Piedrabuena, Santa Cruz de Mudela, Saceruela, San Carlos del Valle, Valdepeñas, Villamayor de Calatrava y Villarrubia de los Ojos por todas las facilidades prestadas. No podemos dejar de mostrar nuestro agradecimiento a D. Ignacio de la Torre, director del Museo de Ciudad Real, por su inestimable ayuda, interés, apoyo y trabajo, así como a todo el personal vinculado con el Museo Municipal de Valdepeñas, muy especialmente a D. Miguel Carmona Astillero.

## Bibliografía

- CAMPOS SOTO, M. y DAMASCENO SILVA, S. (2020), El Museo Nacional vive: recuerdos y perspectivas que las llamas no destruyen. RdM. Revista de Museología: Publicación científica al servicio de la comunidad museológica, nº 79, (Ejemplar dedicado a: Museos y crisis), pp. 119-134.
- CHAMPION, E., y RAHAMAN, H. (2020), Survey of 3D digital heritage repositories and platforms. Virtual Archaeology Review, vol. 11(23), pp. 1-15.
- FLYNN, T. (2019), Over 100,000 Cultural Heritage 3D Models on Sketchfab. En Sketchfab Blog, 2 October 2019.
- HERVÁS HERRERA, M.A. y SÁNCHEZ BERMEJO, J.B. (2022), Molinos de La Mancha: Gigantes del Quijote. Guía oficial del Centro de Interpretación. Ayuntamiento de Campo de Criptana.
- MASCHNER, H., LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V.M., DUVERNAY, J., HERVÁS HERRERA, M.Á., LUREAU, A. y MCLEOD, J.B. (2019), La digitalización tridimensional del patrimonio cultural como medida preventiva ante catástrofes y amenazas. En Congreso Internacional Patrimonio cultural y catástrofes: Lorca como referencia, pp. 379-384. Editorial Instituto del Patrimonio Cultural de España.
- MARQUÉS, N.F. (2020), Old Photographs for New Geometries: The Recent Evolution of Photogrammetry. En Sketchfab Blog, 26 August 2020.
- STATHAM, N. (2019), Scientific rigour of online platforms for 3D visualization of heritage. Virtual Archaeology Review, vol. 10(20), pp. 1-16.
- TORRES MAS, M., LÓPEZ TERCERO, J., LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V.M., TORREJÓN VALDELOMAR, J. y MASCHNER, H.D. (2021), La valorización del yacimiento arqueológico de la Motilla del Azuer (Daimiel, Ciudad Real) a través de las nuevas tecnologías. Complutum, vol. 32(2), pp. 525-542.
- TORRES MAS, M., LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V.M., LÓPEZ TERCERO, J., TORREJÓN VALDELOMAR, J., & MASCHNER, H. (2022), Proyectos de digitalización y realidad virtual en el patrimonio arqueológico. El caso del yacimiento de la Motilla del Azuer en Daimiel (Ciudad Real). Virtual Archaeology Review, vol. 13(26), pp. 135-146.

