GRADO EN HISTORIA

TRABAJO DE FIN DE GRADO REALIZADO POR

ÁLVARO GARCÍA ALCÁZAR

DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO MEDIANTE EL USO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y SU APLICACIÓN EN MUSEOS

BAJO LA DIRECCIÓN DE

PROF.ª Dª. BEGOÑA SOLER HUERTAS

UNIVERSIDAD DE MURCIA
Facultad de Letras

Curso 2020/2021
Convocatoria de julio

DECLARACIÓN RESPONSABLE DE AUTORÍA DE TFG

GRADO EN HISTORIA

ÁLVARO GARCÍA ALCÁZAR, estudiante del Grado en Historia de la Universidad de Murcia, autor/a del TFG con título: DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO MEDIANTE EL USO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y SU APLICACIÓN EN MUSEOS, tutelado por el/la Dr/a BEGOÑA SOLER HUERTAS y presentado para su defensa en la convocatoria de JULIO del curso académico 2020/21

DECLARA BAJO JURAMENTO

Que el trabajo arriba citado es original, de manera que su contenido no vulnera la legislación en materia de Propiedad Intelectual, no contiene plagio y tampoco constituye un fraude de autoría por ser obra de terceros;

Que así lo ha hecho saber a quién tutela dicho trabajo, y de todo ello deja constancia, bajo su responsabilidad legal, mediante este documento, que se incluye en el TFG como página aparte, sin numerar y sin que compute en el tamaño exigible al mismo, inmediatamente después de la portada.

Que cumple así el requisito exigido para que el TFG, una vez depositado en la aplicación tf.um.es, sea sometido a Informe y Evaluación, en la medida en que es original, no contiene plagio ni es obra de terceros.

Murcia, 1 de JULIO de 2021

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado realiza un análisis del panorama actual de la aplicación de la fotogrametría en dos ámbitos, por un lado, a nivel nacional y, por otro lado, haciendo énfasis en la realidad de los museos arqueológicos de la Región de Murcia. Posteriormente se ha realizado una valoración a nivel regional y he propuesto diferentes vías de aplicación, teniendo al Museo Arqueológico de Murcia como referencia.

El objetivo de este trabajo ha sido conocer, en primer lugar, las diversas aplicaciones que ofrece la fotogrametría en el trabajo arqueológico. A continuación, conocer el estado de desarrollo e implantación actual de la fotogrametría y el modelado 3D en los museos nacionales, haciendo énfasis en los pertenecientes a la Región de Murcia. A continuación, he discernido qué posibles usos puede tener dicha técnica en el Museo Arqueológico de Murcia, terminando con el desarrollo de tres posibles aplicaciones: Adopción de modelos 3D táctiles para personas con discapacidad visual, aplicación como elemento educativo en el museo y en los centros educativos, aplicación de la fotogrametría a la investigación arqueológica y uso de los modelos tridimensionales como elemento de divulgación.

PALABRAS CLAVE

Fotogrametría, arqueología, museología, adaptabilidad, divulgación.

EXTENDED ABSTRACT

This Degree's Thesis analyses the current panorama of the implementation of photogrammetry in two areas, on the one hand at the national level and, on the other hand, emphasizing the reality of archaeological museums in the Autonomous Community of Murcia. Subsequently, the regional level and the different methodologies have been assessed, taking the Archaeological Museum of Murcia as a reference.

Following that, the scope will move to the current scene of the development and implementation of photogrammetry, as well as the role of 3D modelling in national museums, emphasizing those belonging to the Autonomous Community of Murcia. Finally, the implications of this technique in the Archaeological Museum of Murcia have been discerned, concluding with the development of three possible approaches: the adoption of tactile 3D models for people with visual impairment, its application as an educational element in the museum and schools, and lastly, the application of photogrammetry to archaeological research, stressing three-dimensional models as a disseminative vehicle.

KEYWORDS

Photogrammetry, archaeology, museology, adaptability, scientific divulgation.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
   1.1 Justificación del trabajo y objetivos. 1
   1.2 Metodología. 3

2. FOTOGRAMETRÍA Y ARQUEOLOGÍA: HACIA UN ESTADO DE LA CUESTIÓN 6
   2.1 La fotogrametría aplicada a la excavación arqueológica. 10
   2.2 La fotogrametría aplicada al Patrimonio Histórico y Arqueológico. 14

3. EL USO DE LA FOTOGRAMETRÍA EN LOS MUSEOS DE LA REGIÓN DE MURCIA
   3.1. Estado de la cuestión. 20
   3.2. Propuesta de trabajo para el Museo Arqueológico de Murcia: Selección de diez piezas susceptibles de ser escaneadas 3D. 23
   3.3. Posibles aplicaciones de la propuesta. 25
      3.3.1. Creación de un discurso museístico adaptado a las personas con discapacidad visual. 25
      3.3.2. La fotogrametría aplicada a la didáctica escolar en el museo y en el centro escolar. 29
      3.3.3. Uso de los modelos 3D como manera de acercar el conocimiento histórico a la ciudadanía. Un ejemplo de exposición en la calle. 32

4. CONSIDERACIONES FINALES 34

5. BIBLIOGRAFÍA 36

6. ANEXO 44

1. INTRODUCCIÓN

El contenido de este trabajo está basado en el análisis de la aplicación de la fotogrametría en el amplio mundo de la Arqueología y, posteriormente, la inclusión de los modelos tridimensionales impresos en los circuitos museísticos. Para contextualizar el trabajo, primeramente, he realizado una investigación para conocer de primera mano cómo de desarrollada está la fotogrametría arqueológica a nivel nacional y regional.

El trabajo se divide en dos apartados que se contraponen. En primer lugar, expongo un apartado referente al estado de la fotogrametría en los museos nacionales, donde he realizado un recorrido por los museos españoles que han aplicado la fotogrametría para dar a conocer sus colecciones, o bien para otros usos que aparecen especificados. A continuación, constreñí el rango de visión a la Región de Murcia, donde traté de ver como se ha aplicado el modelado 3D en el ámbito arqueológico regional. En este caso me he centrado en los museos arqueológicos, sin dejar de lado los trabajos realizados sobre yacimientos arqueológicos o sobre sectores concretos de estos. Una vez expuesto el panorama actual de la fotogrametría, he realizado una propuesta de trabajo que implica a la fotogrametría y al Museo Arqueológico de Murcia.

1.1. Justificación del trabajo y objetivos

La elección de esta temática se debe a mi interés en la aplicación de la tecnología en el campo de la arqueología, en especial en su inclusión en los museos arqueológicos. La fotogrametría es un campo en crecimiento y cuya aplicación es muy útil para la arqueología y la museología. En este trabajo he querido profundizar en el conocimiento y en las diversas aplicaciones que tiene la fotogrametría en el ámbito de la arqueología, así como su posterior aplicación en entornos museísticos. Las investigaciones actuales que abarcan, tanto la fotogrametría como la arqueología, se centran en su aplicación al estudio topográfico o bien al modelado de diversas piezas. En estas páginas he querido ir un paso más adelante y preguntarme qué otras aplicaciones pueden tener y plantear una hipótesis de trabajo para el Museo Arqueológico de Murcia. He llegado a la conclusión que, la fotogrametría tiene aplicaciones didácticas en museos y centros educativos, sirve como método de divulgación científica a la par que es una herramienta clave en la conservación patrimonial. Por último, he buscado una aplicación de los modelos 3D escaneados que, una vez impresos, pueden

servir como elemento de divulgación para las personas con discapacidad visual ya que, a través del tacto, podrán conocer una selección de piezas del Museo Arqueológico de Murcia.

Los objetivos propuestos en este trabajo buscan reflejar el conocimiento aprendido durante el transcurso del Grado en Historia, complementado por conferencias, seminarios y cursos. Los objetivos generales consisten en realizar un análisis de la aplicación de los diferentes recursos tecnológicos en los museos regionales seleccionados, así como conocer el grado de desarrollo de la fotogrametría en los museos españoles y más concretamente, los murcianos. Junto a esto se busca poner en valor la colección arqueológica, a la par de realizar una correcta difusión del Patrimonio Histórico y Arqueológico de la Región de Murcia. Este objetivo adquiere la etiqueta de importante ya que la aplicación de la fotogrametría reinventa la forma de poner en valor la colección arqueológica y de difundir la colección, haciendo posible sacar los modelos tridimensionales de las piezas fuera del museo. También se busca estudiar la convivencia entre las piezas expositivas reales y otras impresas en 3D a imagen exacta de sus originales. Este objetivo puede ayudar a resolver la problemática de ceder temporalmente una pieza a otro museo, ya que una vez cedido el original, se puede exponer una copia 3D exacta. Junto a esto, el uso de piezas creadas mediante escaneados resuelve el problema de exponer piezas muy frágiles, ya que en su lugar podría exponerse un modelo 3D. Por último, se busca crear recorridos museográficos adaptados a personas invidentes. Este objetivo tiene mucha importancia ya que los museos todavía no se han adaptado totalmente a las personas invidentes. Para ello es muy útil la creación de modelos tridimensionales de piezas originales del museo, con el fin de ser expuestas cerca de los originales y puedan ser palpadas por los visitantes invidentes. De esta manera acercamos una selección de piezas a este colectivo que tiene verdaderas dificultades para acceder y disfrutar de la cultura.

En lo referente a los objetivos más concretos, en primer lugar, voy a realizar una propuesta de trabajo en el Museo Arqueológico de Murcia, con el fin de incorporar la fotogrametría 3D, ya no solo al estudio y conservación de las piezas arqueológicas, sino también al discurso expositivo del museo. La elección de este museo responde a mi interés por darle un nuevo enfoque a esta institución museística ya que, pese a que la colección visitable presenta un discurso expositivo actualizado, el uso de los diferentes campos tecnológicos no es muy común en dicho museo. Junto a esto, realizaré una selección de diez piezas de la colección del museo murciano, para proponerlas como piezas susceptibles de ser escaneadas 3D. La elección de este grupo de piezas arqueológicas responde a criterios históricos, ya que cada

pieza seleccionada será representante de su período histórico intentando, además, que sean piezas únicas, abarcando diversos tipos de elementos (Armas, escultura, herramental lítico, etc…). Un objetivo a realizar con estas diez piezas, es su puesta en uso como un recurso educativo para la enseñanza de la Historia, desde un punto de vista más visual y táctil, haciendo accesible el conocimiento. Con este objetivo quiero poner de relieve la necesidad de incluir diversos agentes tecnológicos en la enseñanza de la Historia en los colegios e institutos, tales como la muestra de piezas arqueológicas impresas 3D o bien el uso de piezas escaneadas para dar contexto a las explicaciones en el aula. De esta manera se logra el objetivo didáctico de la institución museística, no siendo ya la visita presencial un elemento clave didáctico. A la par de esto, quiero analizar el porqué del uso o no de la fotogrametría en los museos regionales. A nivel nacional queda constatado que pequeños y grandes museos usan la fotogrametría en términos de conservación y estudio, pero también desde un punto de vista de difusión del patrimonio arqueológico. En este objetivo quiero profundizar en el porqué del uso o no de la fotogrametría en los diferentes museos arqueológicos de la Región de Murcia y más concretamente en el Museo Arqueológico de Murcia. A la par, quiero discernir el uso de diferentes ámbitos tecnológicos en dichos museos. El último de los objetivos es, en sí, una suma de todos los anteriores. Con el escaneo de diversas piezas arqueológicas busco acercar la cultura material y nuestro pasado a la sociedad murciana, para que de esta manera lleguen a entender y, sobre todo, comprender nuestro pasado y la importancia de conservarlo y difundirlo.

1.2. Metodología

La metodología de trabajo ha discurrido por dos vías. En primer lugar, he realizado un trabajo de recensión bibliográfica y en segundo lugar un trabajo de campo. El campo bibliográfico ha buscado cubrir toda la información necesaria. Dentro de la recensión bibliográfica pude contar con diversos tipos, como monografías, artículos científicos, tesis y trabajos de investigación. Una vez leídos realicé un análisis concienzudo de dichas fuentes y las comparé con la situación actual de la fotogrametría en los museos regionales en general y, en particular, el Museo Arqueológico de Murcia. A continuación, me centré en averiguar cómo de implantada está la fotogrametría en España. Para ello busqué en la página web Sketchfab todos los museos, academias, instituciones culturales e, incluso, yacimientos, con modelos tridimensionales. Todos los resultados los clasifiqué por tipos, diferenciando las piezas arqueológicas de las obras de arte y de los yacimientos digitalizados.

El segundo apartado de la metodología se corresponde al proceso de creación de un modelo 3D de dos piezas de la colección permanente del Museo Arqueológico de Murcia. La pieza seleccionada es un busto de una diosa de influencia mediterránea[1], que se corresponde a la colección ibérica. Previo a la construcción del modelo realicé varias visitas a la colección del museo y conversé con el director y personal del museo. De ellos recibí información muy valiosa sobre la colección, posibles usos de la fotogrametría y de las actividades que, hasta el inicio de la pandemia de COVID-19, realizaban. Posteriormente, una vez elegida la pieza, me documenté de todo el proceso mediante la lectura de artículos y los manuales de los programas AGISOFT Photoscan y AGISOFT Metashape.

Para comenzar, tenemos que realizar toda la documentación fotográfica. Para la obtención de las fotografías podemos optar por dos vías. En primer lugar, una forma más sencilla y rápida, aunque de peor calidad, que se trataría de realizar las fotografías sin usar trípode, un fondo claro y lámparas. Este modo es el más común a la hora de realizar fotografías a monumentos o piezas de gran envergadura o situados en lugares públicos. Otro modo de obtener las fotografías es realizarlas colocando la pieza sobre una caja de luz o un fondo claro, con una iluminación estable. Es muy recomendable usar un trípode y un disparador remoto para evitar las vibraciones a la hora de fotografiar. La documentación fotográfica se compone de tres fases. La primera fase consta de fotografiar de manera frontal todas las caras de la pieza. Para ello es necesario que la iluminación a la que está sometida la pieza sea homogénea en todas sus caras y estable, ya que, si la iluminación no es correcta, el modelado presentará sombras y alteraciones muy difíciles de corregir. El objetivo es conseguir que las fotografías se solapen unas con otras, así se creará el primer modelo tridimensional. El número total de fotografías dependerá del tamaño de la pieza. Tras realizar la primera toma de fotografías, realizamos otras dos, una con un ángulo de disparo superior y otra con un ángulo de disparo inferior. Con esta serie de fases de fotografiado tenemos la cobertura básica para realizar un modelo 3D.

A continuación, exportamos las fotografías al programa AGISOFT Photoscan. Este programa, de origen ruso, está diseñado para la construcción de modelos tridimensionales y ortofotografías. Dentro del mercado de software informáticos no es el único que permite crear modelos 3D a partir de fotografías, pero es el más utilizado y el que mejores resultados

1 Sketchfab. (2021, abril 22). Busto de diosa de influencia mediterránea (MAM) - model by alvaroga97 (@alvaroga97) [2e6620c]. Recuperado 17 de mayo de 2021, de https://sketchfab.com/3d-models/busto-de-diosa-de-influencia-mediterranea-mam-2e6620cd86d04692b014e793647974f2

ofrece. Este programa ofrece un uso muy intuitivo y sencillo. A continuación, detallo el procedimiento para elaborar un modelo tridimensional de una pieza arqueológica:

Importar las fotografías: El primer paso consiste en incorporar al software las fotografías con las que procederemos a crear el modelo tridimensional. En algunos casos será conveniente crear una máscara a las fotografías, debido a que estas pueden incluir otros elementos, sobre todo cuando las fotografías se hacen en salas o en espacios abiertos y no sobre un fondo plano.

Importar el calibrado de la cámara: Antes de comenzar con el proceso de creación del modelo, tenemos que importar un archivo generado con AGISOFT Lens que contiene la calibración de la cámara.

Alineado de las fotografías: Una vez las fotografías ya han sido importadas a AGISOFT Photoscan, el siguiente paso es integrar estas, que constituirán la base del futuro modelo. Para ello el programa identifica los puntos iguales o similares de cada fotografía con el resto a partir de identificar el color de cada pixel. Una vez se ha completado este proceso, obtenemos una nube de puntos, que será la base para los futuros pasos del procedimiento. Esta nube de puntos tiene información acerca del color y el volumen del objeto. (Véase Lámina 1)

Construcción de la nube de puntos densa: Este paso tiene como objetivo dotar a la nube de puntos, obtenida tras alinear las fotografías, de densidad. El software convierte la nube de puntos primigenia en un modelado poligonal. No es un procedimiento necesario para elaborar el modelo tridimensional, pero con este obtendremos una mayor calidad en el procesado. (Véase Lámina 2)

Creación de la malla: Obtendremos un modelo geométrico resultante de la triangulación de los puntos de la nube densa. Si hemos construido la nube de puntos densa, el resultado será más preciso y contendrá información relativa al color, por lo que no será necesario incorporar la textura. (Véase Lámina 3)

Incorporación de la textura: Es el último paso y tras finalizar podremos ver la figura tridimensional. La textura que se va a añadir es la que está registrada en las fotografías, de ahí que sea muy importante tener una buena y homogénea iluminación, evitando las sombras. (Véase Lámina 4)

Una vez realizado el modelo tridimensional de la pieza, si el flujo de trabajo no ha sido limpio o correcto, quedarán pequeñas imperfecciones en el modelo que debemos corregir. Para ello recurrimos a programas de modelado 3D, como ZBrush, Meshmixer o Blender.

2. FOTOGRAMETRÍA Y ARQUEOLOGÍA. HACIA UN ESTADO DE LA CUESTIÓN

La fotogrametría surge como un avance en la técnica de documentación del registro arqueológico. Es, en sí, una técnica de documentación no invasiva en constante evolución. Según la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección[2], la fotogrametría se define como ciencia y tecnología que extrae información geométrica y tridimensional de objetos, a partir de imágenes y de un conjunto de datos. Podemos dividir la fotogrametría en dos categorías (Matthews, 2007, p. 5-17). En primer lugar, la aérea y en segundo lugar la de corto alcance, la cual es el objeto de estudio en este trabajo.

Previo a la aparición de la fotogrametría, las únicas dos maneras posibles para documentar el trabajo arqueológico eran el dibujo y, posteriormente, la toma de fotografías. La fotografía ha sido, desde su descubrimiento, una técnica muy útil para documentar el registro arqueológico. La excelsa labor de los fotógrafos nos ha permitido conocer el estado en el que los restos arqueológicos fueron descubiertos. Uno de los primeros trabajos de fotografía arqueológica recayó en la cámara de Maxime du Camp y su serie fotográfica sobre el Antiguo Egipto[3], tomada entre los años 1849 y 1851.

El origen de la técnica fotogramétrica se remonta a principios del siglo XX. Sin embargo, la fotogrametría que se aplicó por entonces no se definía con la definición actual de la disciplina. El profesor de la Universidad de Hannover y del Instituto de Fotogrametría y Geoinformación, Gottfried Konecny, apunta que hay cuatro etapas en el desarrollo de la fotogrametría (Konecny, 2014):

Metrofotogrametría: Al ingeniero militar francés Aimé Laussedat le debemos el primer intento de realizar una documentación con la técnica fotogramétrica. Su técnica se conoce en la actualidad como fotogrametría de intersección. Esta consiste en realizar fotografías de

2 International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2016) *Statutes*. https://www.isprs.org/documents/statutes16.aspx

3 The Metropolitan Museum of Art. (s. f.) *View of Egypt*. https://www.metmuseum.org/art/collection/search/291430

un objeto o paisaje desde los dos extremos de la base. A la par, el arquitecto alemán Albrecht Meydenbauer comenzó a fotografiar edificios públicos mediante la misma técnica que Laussedat. Inventando la fotogrametría arquitectónica. Además, desarrolló cámaras especiales para la técnica fotogramétrica, que respondían a todas las necesidades. Sus trabajos sentaron las bases sobre las que se elaboraron las cámaras posteriores. El 1 de abril de 1885, el Parlamento de Prusia reconoció la excelsa labor de Albrecht Meydenbauer y creó el Real Instituto Prusiano de Fotogrametría. Su director iba a ser el propio Meydenbauer, que acabaría siendo nombrado ministro de cultura.

Fotogrametría analógica: Tiene sus inicios en los años 30. Va a ser clave la aplicación de la estereofotogrametría, una técnica derivada de la visión estereoscópica, por la cual podemos ver un modelo tridimensional de un objeto al observar dos imágenes tomadas desde diferentes puntos de vista. Para poder ver estos modelos tridimensionales fue necesario la creación del estereoscopio, obra de Sir Charles Wheatstone, en 1840. En el interior del estereoscopio había unos espejos pequeños, por los cuales se observaban dos imágenes, con diferentes puntos de observación, una para cada ojo. Cuando estas dos fotografías se observan a la vez, parece que estás observando un modelo tridimensional. El principio de Paralaje es sobre lo que se basa esta técnica. T. Van Damme (2015, p. 40) lo define como la variación aparente de la posición de un objeto, debido a un cambio en la posición de la persona que lo observa.

En esta fase se va a dar uno de los mayores avances en la historia de la disciplina, la toma de fotografías aéreas, gracias a los hermanos Wright y su avión motorizado en 1903. Hasta la fecha, la toma de fotografías aéreas era un reto, con muy pobres resultados. Durante la I Guerra Mundial, la fotografía aérea tuvo un considerable avance. Tras la guerra, comenzaron a producirse y difundirse los restituidores analógicos. A mitad de los años 30, la fotogrametría se había convertido en el mejor método para hacer cartografías. Sin embargo, la necesidad imperiosa de personal cualificado para realizar los procesos fotogramétricos, sumado a los altísimos costes de estos, frenó su desarrollo en el campo de la Arqueología.

Fotogrametría analítica: El objetivo de la fotogrametría analítica era agilizar los largos y tediosos procesos de la fotogrametría analógica. Fue un período en el que se desarrollaron dispositivos que pudieran realizar todos los cálculos. Esta fase llegará a su momento álgido en los años 60, con el desarrollo de ordenadores accesibles a todos los públicos. La figura de Uki Helava, ingeniero finés, fue clave, ya que desarrolló el restituidor analógico. Esto va

a presentar grandes ventajas, como la gran precisión, la posibilidad de guardar y recuperar datos, la gran versatilidad a la hora de trabajar con fotografías verticales, horizontales y en diversas perspectivas. Todo esto provocó que el uso fuera más fácil y sencillo.

Con la fotogrametría analítica va a llegar el avance más importante de la disciplina. Comenzaba un nuevo período en el que la tecnología de los ordenadores facilitó la realización de los procesos, como los largos cálculos o las coordenadas, que pasarían a ser definidas de manera matemática y no mecánica. Los ordenadores permitieron procesar conjuntos de fotografías más complejos, trabajar con un volumen de datos mayor, mientras permitía una mayor automatización del sistema.

Fotogrametría digital: Según Konecny esta fase comienza en los años 80. Desde los inicios de la era informática la técnica ha avanzado con velocidad. Los primeros softwares dedicados a la fotogrametría fueron UNIX o SilicON Graphics (Charquero, 2016, pp. 139-157). En el origen la fotogrametría utilizaba fotografías digitales, que eran tratadas con técnicas de correlación y procesos automáticos. En estos años era necesario tener estaciones fotogramétricas digitales, que se componían de un ordenador y dos monitores para poder tener una visión estereoscópica.

Con la entrada del siglo XXI y el rápido avance de las tecnologías, la técnica fotogramétrica ha avanzado hasta el punto de ser accesible para todos los públicos. El primer software fotogramétrica comercial fue Photomodeler, perteneciente a la empresa EOS System, en el año 1999. Este programa era tosco y de difícil manejo, basado en la triangulación. Posteriormente se actualizó en la versión Photomodeler Scanner, que se basaba en la combinación estéreo-pares convergentes. En el año 2006 salió al mercado el programa AGISOFT Photoscan, de la empresa tecnológica rusa Agisoft. Este nuevo software superaba con creces al anterior en velocidad, estabilidad y calidad de los resultados. Incorporaba la tecnología de estructura del movimiento. Photoscan facilitó el uso de esta tecnología, simplificando los procesos y abriéndose a todos los públicos. Tras el logro conseguido por Photoscan, llegaron otros softwares similares, como son los casos de 123D Catch, Photosynth o Pix4D.

En España, los trabajos fotogramétricos realizados abarcan la totalidad de los períodos históricos. Sin embargo, se puede constatar que el período ibérico, el romano y el medieval son los que mayor número de trabajos concentran. De todos ellos sobresale el período romano. Analizando las colecciones de los museos en la página web de Sketchfab, se puede

concluir que, la mayoría de los museos cuentan con colecciones de períodos variados, apenas hay cuentas monográficas. A nivel nacional podemos constatar museos virtualizados dedicados íntegramente a dicho período, como los casos del Museo Virtual del Yacimiento Arqueológico de Los Bañales (Andreu Pintado, 2018, p. 25-32), el Pecio Bou Ferrer (Moya, 2007) o el Museo de Historia de Manacor. El segundo período en número de piezas digitalizadas es la Edad Media.

Si nos centramos en la tipología de los modelos tridimensionales podemos constatar que la gran mayoría son modelos de piezas pertenecientes a colecciones museísticas referentes a la cultura material. En algunos casos se presenta el modelo 3D de un edificio o bien de un yacimiento arqueológico, pero en una cantidad bastante reducida en comparación a los objetos de la cultura material.

En lo referente a los principales investigadores de la materia en cuestión, a nivel nacional sobresale el nombre de Néstor Marqués[4]. Su labor se compagina entre los campos de la arqueología, la docencia y la divulgación histórico-científica, en blogs y cuentas de redes sociales, tales como *Antigua Roma al día*. Es autor de una decena de artículos y colaboraciones, así como del libro *Un año en la Antigua Roma* (Espasa, 2018). En lo referente a la fotogrametría, ha colaborado con museos, tales como el VilaMuseu, el Museo Arqueológico Nacional o el Museo Archeologico Nazionale di Napoli.

Otro investigador de renombre es Pablo Aparicio[5], historiador del arte, arqueólogo y especialista en virtualización del patrimonio. Fundó PAR arqueología y patrimonio virtual. Su labor como arqueólogo le ha llevado a países como Italia o Macedonia del Norte. Compagina su trabajo de arqueólogo y de virtualizador del patrimonio con la labor docente, desarrollada en la Universidad de Burgos (2013-2016) y en el Incipit (CSIC). Imparte cursos de virtualización del patrimonio en la plataforma Koré Formación. Entre sus publicaciones destaca la *Guía para la documentación de reconstrucciones virtuales de bienes patrimoniales* (Aparicio, 2021), un artículo en el aborda el proceso de documentación necesario para una reconstrucción virtual, proponiéndolo desde un punto de vista práctico.

4 Marqués. N. (2021). *Sobre mí.* http://nestormarques.com/#sobremi

5 Aparicio. P. (s.f). *Quienes somos.* https://parpatrimonio.com/equipo/pablo-aparicio/#portfolio

2.1. La fotogrametría aplicada a la excavación arqueológica

La fotogrametría ha evolucionado de manera muy rápida en los últimos años. Ha pasado de ser una técnica muy útil, pero con unos procesos productivos muy complejos y caros, a ser una técnica más fácil e intuitiva, con un balance de gastos ínfimo. En España, la aplicación de la fotogrametría está muy extendida en los trabajos arqueológicos. Sin embargo, hay un déficit de publicaciones que abordan estos trabajos, por lo que la divulgación de estas labores se ve reducida a un segundo o tercer plano, con respecto a otros países europeos, como el Reino Unido, u otros como Estados Unidos. Hasta la fecha, la mayoría de los trabajos fotogramétricos en el ámbito de la arqueología se han realizado sobre piezas ya extraídas del yacimiento, normalmente en un laboratorio.

El registro de un yacimiento arqueológico mediante la fotogrametría se convierte en un elemento básico de una excavación, ya que la arqueología es, por sí, una técnica destructiva, por lo cual es imposible regresar a un estado anterior. La creación de modelos tridimensionales no es el punto final del camino, sino es el punto de partida de nuevas vías en la investigación.

Documentación durante la excavación: La documentación que se realiza en el día a día de una excavación arqueológica apenas ha variado con el paso de los años, en especial desde la aparición de la fotografía en el ámbito arqueológico. Las formas más comunes de documentación de los restos materiales que aparecen durante una excavación son el dibujo y la fotografía. Desde el inicio de la disciplina arqueológica, el dibujo se convirtió en una herramienta clave y sencilla de documentación. Sin embargo, pese a la pericia que pudiera tener la persona que dibujaba, no era una herramienta de documentación totalmente exacta, aunque sí fiable. Con la aparición de la fotografía, la documentación llegó a un nivel de realismo y exactitud mayor, sobre todo con la aparición de la fotografía a color. La sustitución del dibujo por la fotogrametría conlleva que la pieza no tenga que manipularse, lo que evita posibles daños. Junto a esto, la versatilidad y la velocidad que ofrece la fotogrametría supera con creces al dibujo, ya que desde el primer momento nos ofrece todas las vistas posibles de la pieza (Arcusa Magallón et al. 2016, p. 537).

El desarrollo de la tecnología 3D ha llevado al planteamiento del uso de la fotogrametría y el escáner láser como herramientas útiles en la documentación *in situ*. La fotogrametría es una técnica ampliamente aplicada al material arqueológico, sin embargo, siempre utilizada en laboratorios, museos o almacenes, nunca en el propio yacimiento −no se tiene en cuenta

cuando el objeto a escanear es el propio yacimiento−. El uso de la fotogrametría para la documentación de elementos de un yacimiento abre una nueva puerta en el estudio y documentación, ya que nos permite observar la relación estratigráfica que tiene el terreno con la pieza en cuestión.

Documentación de la estratigrafía: Para el estudio estratigráfico, la fotogrametría, también presenta una nueva forma de documentarla. Tanto la fotografía como el dibujo han sido y son los métodos tradicionales para documentar la estratigrafía. El dibujo ofrece una serie de desventajas muy reseñables (Aguilar, Granado y Barrera, 2013, pp. 130-134), como pueden ser la falta de rigor métrico y proporcionalidad, la pérdida de elementos de la excavación y las texturas, así como todo esto está supeditado al rigor de la persona encargada del dibujo. La fotografía resuelve, prácticamente, todos estos problemas. Sin embargo, hay que entender la fotogrametría como una evolución de la documentación fotográfica. La fotogrametría aplicada a la documentación estratigráfica nos ofrece una serie de ventajas que hace que sea mejor opción que el dibujo tradicional. En primer lugar, no se pierde información ya que no interviene el rigor de una persona. La pérdida de las texturas o algún elemento de la excavación no se pierde, ya que queda registrado en la fotografía. Los errores métricos y de proporcionalidad desaparecen. La creación de un modelo tridimensional de la estratigrafía nos permite una nueva forma de visualizar las relaciones entre estratos y materiales. La única desventaja, aparente, que ofrece el uso de la fotogrametría es que requiere de unos medios tecnológicos −cámaras, trípodes, focos y ordenadores− cuyo uso en excavaciones no suele ser muy común, además de tener un alto costo, junto a la necesidad de que la captura de datos sea realizada por una persona formada en fotogrametría.

Documentación de la totalidad del yacimiento, día a día, para ver y analizar la evolución de la excavación: La Arqueología es, en sí, una ciencia destructiva, por lo que volver a un estado anterior es prácticamente imposible. Hasta ahora los equipos arqueológicos habían utilizado la fotografía, y con anterioridad el dibujo, para documentar la evolución de la excavación. Con el desarrollo tan grande que está teniendo la fotogrametría, esta técnica ha salido de los laboratorios y almacenes para integrarse en el día a día de la excavación arqueológica. Una de las aplicaciones que tiene sobre el terreno es la documentación a pequeña escala, tal y como he comentado con anterioridad. Sin embargo, la fotogrametría puede aplicarse mediante una combinación de fotografías terrestres y aéreas para documentar la totalidad del yacimiento. De esta manera, realizando un modelado

tridimensional cada cierto tiempo (varía en función de la duración de la campaña arqueológica) se puede obtener el avance de las labores de excavación.

Reconstrucción: La fotogrametría es una herramienta muy útil a la hora de realizar una reconstrucción, debido a que con esta técnica podemos obtener un primer modelo tridimensional, o bien del terreno, o de los restos que se conservan. Lo más importante que tiene que tener una reconstrucción es un gran realismo. El objetivo que se pretende alcanzar al hacer una reconstrucción virtual es buscar una mayor comprensión. En este apartado debemos diferenciar la reconstrucción arquitectónica de la reconstrucción de una pieza arqueológica. En lo referente a la restitución arqueológica, a partir del escaneado de los restos que pudieran quedar, como pueden ser los cimientos o unos pocos centímetros de los muros. El resultado final será muy fidedigno siempre y cuando se combine con otros estudios, para que el apartado visual, como el color de las paredes, sea real. Por otro lado, encontramos la restitución de elementos de la cultura material. Esta no difiere mucho de la realizada de manera manual, uniendo los diversos trozos y rellenando, o no, los huecos que pudieran quedar. En primer lugar, se realiza la fotogrametría de cada fragmento o bien del conjunto entero. A continuación, una vez se han incorporado las texturas a cada fragmento, se comienza a colocar cada uno de los fragmentos en su posición original. Una vez están todos alineados en su posición, obtendremos el modelo final. En el caso de que se prefiera obtener un modelo sin los huecos dejados por los fragmentos inexistentes, programas como AGISOFT Photoscan o Metashape, ofrecen la posibilidad de que los huecos se rellenen de manera automática, obteniendo el modelado de la pieza completa. De esta manera obtenemos una reconstrucción parcial, o total, de la pieza.

Uno de los apartados de la reconstrucción donde está más extendido la aplicación de la fotogrametría es en la restitución del color en esculturas policromadas. Una vez la escultura es escaneada, con el modelo 3D resultante, los investigadores pueden restituir el color y obtener un modelo a color totalmente fidedigno.

La fotogrametría puede ser un elemento clave a la hora de la restauración de estatuas. Sin embargo, a la hora de acometer el reensamblaje, hay que establecer un método por el cual proceder. Con el fin de evitar cualquier manipulación innecesaria de los diversos fragmentos, la fotogrametría puede actuar escaneando, en primer lugar, todos los fragmentos (Barberà Giné, 2017, p. 158). Posteriormente, con los fragmentos digitalizados, se procede a establecer la hipótesis de trabajo y reconstrucción. A la par, mientras se trabaja en la

hipótesis, se obtiene un modelo tridimensional de la escultura ensamblada, por lo cual se puede comenzar a trabajar en el estudio de la policromía, en el caso de que la tuviera (Liverni, 2004).

Estudio geométrico y volumétrico de las piezas: La creación de modelos tridimensionales una vez hemos realizado la fotogrametría de una pieza nos abre un nuevo campo de análisis, el estudio de la geometría de dicha pieza. Durante el proceso de modelado, obtenemos en un paso intermedio un modelo geométrico, conformado por un enorme número de triángulos (Moyano, 2017, p. 335). Todas las piezas 3D se conforman de triángulos, a mayor cantidad de triángulos, mayor será la calidad del modelo. Esto nos permite analizar y comparar las piezas en función del número de triángulos, siempre y cuando estén dentro del mismo rango de calidad. Podemos obtener, por ejemplo, el número de triángulos que conforman un ánfora, una escultura o una columna. Otro aspecto que nos permite la creación de modelos 3D es estudiar el cálculo de volúmenes. Esta aplicación ha tenido mayor desarrollo a la hora de calcular las capacidades craneales.

Catálogos 3D: Uno de los objetivos que persigue la fotogrametría es la creación de archivos digitales 3D. Hasta ahora existen multitud de archivos locales, regionales y nacionales que son verdaderos catálogos de piezas arqueológicas. Uno de esos catálogos es el español CER.ES[6]. Este catálogo pertenece al Ministerio de Cultura y Deporte y en él podemos encontrar información e imágenes de gran parte de los bienes culturales que se encuentran depositados en los museos pertenecientes a la Red Digital de Colecciones de Museos de España. Esta web es un elemento básico de consulta para cualquier persona que investigue sobre patrimonio histórico/arqueológico ya que es una gran base de datos, donde se pueden consultar desde información acerca de su descubrimiento hasta fotografías. Sin embargo, la fotogrametría puede abrir un nuevo mundo en los archivos, catálogos y bases de datos. Sólo hay que conjugar las ideas ya existentes, por un lado, una base sólida de archivos, y por otro lado la tecnología que nos ofrece poder visualizar los bienes culturales en tres dimensiones. La simbiosis de estas dos vías ofrece una nueva experiencia en la investigación. La persona que acceda a este archivo recibirá información relativa al bien patrimonial, además podrá observar todas sus caras, ampliando de esta manera la información que daría una fotografía, en la actualidad.

6 Ministerio de Cultura y Deporte. (s. f.). Red Digital de Colecciones de Museos de Españoles. Recuperado 8 de junio de 2021, de http://ceres.mcu.es/pages/SimpleSearch?index=true

La conjunción de un catálogo con información y los modelos tridimensionales no es algo nuevo. Desde hace varios años arqueólogos e investigadores aprovechan la plataforma en línea Sketchfab, para divulgar sus modelos tridimensionales junto a información escrita relativa a la pieza en cuestión. Sin embargo, el funcionamiento de Sketchfab podemos catalogarlo como una red social, donde los diferentes perfiles suben modelos tridimensionales y cualquier persona puede poner un comentario, guardarla en favoritos o darle un me gusta. Es en Uruguay donde vamos a ver un movimiento pionero en la conjunción de archivo y modelos 3D. En este país sudamericano se ha creado el Archivo Nacional de Patrimonio 3D[7]. Este archivo nace con intervención pública y privada y su objetivo es realizar modelos tridimensionales de estatuas y monumentos uruguayos y ofrecerlos, de manera gratuita, a todo el mundo. La colección de este archivo, que a la par funciona como museo, recoge esculturas de diversas épocas. Todas las piezas escaneadas son esculturas que se encuentran en las calles, jardines y rotondas de todo Uruguay. El Archivo acerca a todos los que visitan su web las esculturas, con todo lujo de detalles e información sobre el autor y donde se encuentra.

2.2. La fotogrametría aplicada al Patrimonio Histórico y Arqueológico

La digitalización del patrimonio arqueológico mediante técnicas 3D es una ciencia que ha ido ganando importancia en los últimos años. En España contamos con varios museos que han digitalizado una parte de su colección, con el fin de mejorar el apartado divulgativo. En nuestro país también vamos a encontrar el caso de un museo totalmente virtual, como es el caso del yacimiento arqueológico de Los Bañales (Andreu, 2018, pp. 25-32). Fuera del ámbito estrictamente arqueológico, vamos a ver como la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando ha virtualizado un centenar de piezas artísticas, que abarcan la escultura principalmente, la pintura y la arqueología. También el Museo Nacional del Prado ha escaneado de manera tridimensional una obra de Francisco de Goya y Lucientes.

El Museo Arqueológico Nacional[8] ha digitalizado una selección de piezas de las colecciones de cerámica griega y de cerámica ibérica. De la colección griega se han digitalizado treinta piezas, que abarcan diversos tipos, como cráteras, lutróforos, lecane, dinos o un ritón ático

7 Archivo Nacional del Patrimonio 3D. (2017, 2 enero). Recuperado 24 de mayo de 2021, de http://www.patrimonio3d.uy/

8 Sketchfab. (2015, 4 diciembre). Museo Arqueológico Nacional (@man). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/man

con una cabeza de cordero. Se trata de la colección digitalizada más extensa e importante a nivel nacional, siendo un referente de la difusión del Patrimonio Arqueológico mediante el uso de las nuevas tecnologías de comunicación.

El Museo de Pontevedra también ha realizado digitalizaciones de más de una treintena de piezas arqueológicas[9]. Entre las obras virtualizadas destaca un retrato del Emperador Augusto, un hacha de bronce perteneciente al Depósito de Samieira y un petroglifo del conjunto de San Salvador, concretamente el petroglifo da Laxe das Picadas.

Otra colección muy interesante digitalizada es la ofrecida por el Museu d'Arqueologia de Catalunya. La institución museística ofrece en su página de Sketchfab[10] una colección de un centenar de piezas arqueológicas, tales como una buena colección de lucernas, el ara griega de Pontós, mosaicos o la excelente escultura de Esculapio de Ampurias. La colección que ha digitalizado el Museu d'Arqueologia de Catalunya es muy variada. Abarca desde piezas prehistóricas, como una punta de hoja de laurel del Solutrense (Paleolítico Superior), pasando por piezas ibéricas, como varios kalathos, ánforas o timiaterios. La colección digitalizada llega hasta el período medieval, donde encontramos piezas de gran importancia, como una escultura de alabastro de la Mare de Déu de Tàrrega (Siglo XIV) o restos de un arco polilobulado andalusí. En Tarragona encontramos el Museu de les Terres de l'Ebre (Amposta)[11]. Sus treinta y nueve piezas digitalizadas abarcan diversos períodos históricos, como el período Campaniforme, el ibérico, el mundo romano y el medieval, entre otros.

Otra institución que se ha sumado a la aplicación de la fotogrametría 3D es el Instituto Catalán de Arqueología Clásica[12]. La colección de esta institución abarca desde modelos 3D de los yacimientos, recreaciones parciales y completas y piezas arqueológicas, como diversas inscripciones romanas o capiteles.

En las Islas Baleares tenemos el caso del Museo Arqueológico de Ibiza y Formentera[13] (que también engloba el Museo de Puig des Molins y el Museo de Dalt Vila). Esta institución tiene una pequeña colección digitalizada de sólo nueve piezas. Entre estas destacan un aríbalo egiptizante, una cáscara de huevo de avestruz con decoración púnica, o diversas

9 Sketchfab. (2016, enero 29). Museo de Pontevedra (@museodepontevedra). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museodepontevedra

10 Sketchfab. (2014, 17 septiembre). Museu d'Arqueologia de Catalunya (@macb3d). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/macb3d

11 Sketchfab. (2016, 16 junio). Museu de les Terres de l'Ebre (@MuseuTE). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/MuseuTE

12 Sketchfab. (2016, marzo 23). ICAC (@imatias). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/imatias

13 Sketchfab. (2017, 26 abril). MAEF - museo virtual (@MAEFmuseovirtual). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/MAEFmuseovirtual l

estatuillas entre las que destaca una representación de la diosa Tanit o un busto femenino de estilo griego. Otro caso en el archipiélago balear es el del Museo de Historia de Manacor[14]. La colección virtualizada es de una veintena de piezas, en su mayoría pertenecientes al período romano. Destacan piezas como un cráneo humano del Siglo VI d. C (Yacimiento de Son Peretó), un busto del dios Baco de, de época romana y jarra-biberón de origen púnico.

En el archipiélago canario encontramos la colección virtual del Museo Arqueológico de Benahoarita[15] (La Palma), cuya colección virtual abarca una muestra de la cerámica local de los benahoaritas. En las Islas Canarias también encontramos la rica colección virtualizada del Museo Canario[16], cuya colección virtual recoge siete modelos 3D de momias canarias y un cráneo. Por último, en la isla de Tenerife se halla el Museo Arqueológico del Puerto De la Cruz[17]. Su colección digitalizada consta de quince modelos tridimensionales, que recogen modelos de cerámica guanche. Destacan un ídolo guanche denominado Guatimac y un gánigo guanche.

Una buena colección de piezas digitalizadas de origen ibérico y fenicias lo vamos a encontrar en el Museu monogràfic del Torrelló d'Almassora[18]. Este museo tiene digitalizadas un total de veintiún piezas, que abarcan desde ánforas hasta casos caliciformes.

Los trabajos realizados por el experto en fotogrametría Néstor Marqués, en el VilaMuseu[19] de Villajoyosa son excepcionales. La colección digital se compone de un total de treinta y dos piezas romanas, medievales y una magistral colección de cuatro amuletos egipcios. Destaca la colección de restos malacológicos, un huevo de avestruz del Siglo IV a. C, una espada ritual islámica, una falcata íbera y las colecciones de piezas egipcias y romanas. Asociado a este museo encontramos el pecio Bou Ferrer (Moya y Muñoz, 2017, pp. 70-81). Dicho pecio cuenta con una cuenta de divulgación de los materiales encontrados en Sketchfab[20]. Actualmente cuentan con tres modelos virtualizados, dos ánforas y un lingote de plomo.

14 Sketchfab. (2018, 3 abril). Museu d'Historia de Manacor (@MuseuManacor). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/MuseuManacor

15 Sketchfab. (2017, octubre 27). Museo Arqueológico Benahoarita (@museo_benahoarita). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museo_benahoarita

16 Sketchfab. (2017, abril 24). El Museo Canario (@elmuseocanario). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/elmuseocanario

17 Sketchfab. (2017, julio 4). ArqueoPC Museo (@arqueopc). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/arqueopc

18 Sketchfab. (2016, abril 14). Torrello Museum (@torrellomuseum). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/torrellomuseum

19 Sketchfab. (2017, octubre 10). Vilamuseu (@vilamuseu). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/vilamuseu

20 Sketchfab. (2018, enero 24). BouFerrer (@bouferrer). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/bouferrer

La colección que nos ofrece el Museu Virtual de Vilamajor es muy variada[21]. En ella vamos a encontrar piezas arqueológicas medievales, puerto también muestras de arte medieval, construcciones medievales y una rica colección etnográfica, como unos cabezudos de las fiestas locales. De este museo hay que destacar los yacimientos y edificios virtualizados.

En Andalucía destaca el Museo de Jaén[22], cuya colección digitalizada consta de catorce piezas, principalmente del período medieval. De la colección jienense destaca la Tiara o Diadema Charilla, del Siglo X; unos pendientes visigodos del Siglo VII; un candil de bronce datado entre los siglos X y XI.

La fotogrametría 3D es una herramienta muy versátil y creativa, que nos permite crear auténticos museos virtuales. Este es el caso del yacimiento arqueológico de la ciudad romana de Los Bañales[23], en el municipio de Uncastillo (Zaragoza). La dirección del yacimiento apostó, en 2015, por la creación de un museo virtual en el que quedarían expuestas las piezas digitalizadas. Los trabajos de digitalización abarcan desde ejemplos de la cultura material hasta estructuras, como un acotado funerario perteneciente a los Atilio -Siglo I d. C.- Otro ejemplo similar lo encontramos en el Museo Virtual de Santa Criz de Eslava (Andreu y Serrano, 2019, pp. 107-128) en este pueblo navarro. Dicho museo virtual cuenta con una colección de treinta y siete piezas arqueológicas escaneadas pertenecientes al período de la ocupación romana de la Península Ibérica. En la colección virtual podemos encontrar diversos fragmentos de esculturas, inscripciones, capiteles y un togado acéfalo de mármol, datado en el Siglo I d. C. También en Navarra se encuentra el Museo Virtual Alto De la Cruz[24], cuyo fin es difundir los hallazgos arqueológicos de los yacimientos de los poblados de Alto de la Cruz y la necrópolis de La Atalaya, ambos situados en el pueblo de Cortes. El corpus museístico se compone de veintiséis piezas, todas pertenecientes al período de la Edad del Hierro. En este museo virtual destacan piezas como la colección de ídolos de cerámica, una espada de hierro incompleta y una urna cineraria con tapa.

La fotogrametría no está sólo presente en los museos, sino que cada vez más se recurre a esta técnica para ser una herramienta clave en la difusión de los yacimientos arqueológicos. Un trabajo muy destacable es el llevado a cabo en el yacimiento arqueológico de Guarrazar,

21 Sketchfab. (2016, agosto 11). Vilamajor Museu Virtual (@museuvirtualvilamajor). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museuvirtualvilamajor

22 Sketchfab. (2017, enero 30). Museum of Jaén (@museo-de-jaen). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museo-de-jaen

23 Sketchfab. (2015, abril 21). Los Bañales - Museo Virtual (@banalesmuseovirtual). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/banalesmuseovirtual

24 Sketchfab. (2016, agosto 29). Museo Virtual Alto de La Cruz (Cortes-Navarra) (@maccvirtual). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/maccvirtual

Toledo[25]. En este caso nos encontramos con una elaborada virtualización del complejo palacial y monástico vinculado a la realeza visigoda.

Paralelo al desarrollo de esta técnica en diversas instituciones museísticas españolas, la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando[26], ha virtualizado casi un centenar de obras de gran prestigio. Destacan el busto de Francisco de Goya, realizado por Mariano Benlliure; la obra pictórica *San Fernando recibe la embajada del rey de Baeza*, del pintor Juan de Miranda; figurillas de bronce egipcias de Anubis y Bastos, pertenecientes al tercer periodo intermedio y la baja época (1070 - 332 a. C.)

Por último, el Museo del Prado[27] ha escaneado de manera tridimensional la obra del insigne pintor Francisco de Goya y Lucientes *La Reina María Luisa a caballo*. Este trabajo se realizó en el marco de un estudio técnico de la pintura. El Museo buscaba crear un facsímil para facilitar el estudio sobre Goya y conseguir un acercamiento a su obra y su figura. Se necesitaron más de mil fotografías para escanear el lienzo.

A nivel regional hay que destacar el proyecto realizado por el Portal de Museos de la Comunidad Autónoma de Galicia[28]. Dicho proyecto consiste en la virtualización de diversas piezas arqueológicas, artísticas y yacimientos gallegos. La colección se compone de setenta y cinco modelos, que abarcan la historia gallega, pero con una preponderancia de los modelos romanos. La colección de arte se centra en esculturas religiosas, como las del apóstol Santiago o una Santa Ana Trinitaria. Este museo virtual también cuenta con el yacimiento arqueológico de los Castros de Viladonga digitalizado.

En Cataluña encontramos un proyecto pionero de digitalización del patrimonio, *Giravolt. Vive el patrimonio cultural en 3D*[29]. Este proyecto está dirigido por el Departamento de Cultura de la Generalitat de Cataluña y se compone de cincuenta piezas escaneadas. Los objetivos del proyecto giran en torno en dar a conocer las técnicas de digitalización del patrimonio y ofrecer una manera diferente de observar y disfrutar del patrimonio cultural. La colección digitalizada comprende desde edificios, como el Anfiteatro Romano de

25 Sketchfab. (2017, noviembre 9). Guarrazar Virtual (@alevicente.navarro). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/alevicente.navarro

26 Sketchfab. (2015, noviembre 2). Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (@rabasf). Recuperado 13 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/rabasf

27 Museo Del Prado (2018, agosto 8) *La Reina María Luisa a caballo de Goya escaneada 3d* https://www.museodelprado.es/actualidad/noticia/la-reina-maria-luisa-a-caballo-de-goya-escaneada/505956db-cbcb-fb3b-dcf2-28af14e37e82

28 Sketchfab. (2016, noviembre 10). Museos de Galicia (@Museos_de_Galicia). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/Museos_de_Galicia

29 Patrimoni Cultural (s.f). *Giravolt. La nueva experiencia del patrimonio cultural catalán.* http://patrimoni.gencat.cat/es/giravolt

Tarragona (Codina-Peñarroja, 2020, pp. 127-140) o el Claustro de la Seu Vella de Lleida; hasta piezas pertenecientes a la colección del Museo de Arqueología de Cataluña.

Hasta la fecha estos son los museos y los proyectos que han sido publicados en suelo nacional. La aplicación de la fotogrametría al patrimonio, en general, y en particular al arqueológico es un hecho muy extendido por toda la geografía española. Los resultados de todos estos trabajos, muchos publicados de manera abierta y gratuita en la página web Sketchfab.com, aunque también encontramos trabajos en publicaciones, plataformas y páginas web; han contribuido a la divulgación del legado histórico y arqueológico que los museos, anteriormente nombrados, atesoran. Ha quedado patente que el escaneado virtual trasciende más allá del patrimonio arqueológico, ya que varias piezas artísticas, como la del Museo del Prado o las de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, han sido escaneadas y divulgadas de manera tridimensional. La aplicación de la fotogrametría, junto con el diseño de espacios 3D, ha llevado el mundo de los museos a una nueva esfera, la del museo virtual, cómo será el caso del Museo Virtual de Santa Criz de Eslava.

Si nos centramos en los ámbitos de aplicación de estos trabajos fotogramétricos, la amplia mayoría tienen como objetivo la divulgación científica. Aunque no hay que dejar de lado que estos modelos 3D, una vez escaneados sirven como elemento de conservación y documentación. Sin embargo, no han abarcado todas las posibilidades de aplicación, quedándose en lo meramente virtual y no trascendiendo al hecho tangible, quizás una de las aplicaciones más útiles, tanto en investigación, divulgación y musealización (Barberà 2017, pp. 156-159).

Los resultados obtenidos de estos trabajos fotogramétricos son heterogéneos. Por un lado, encontramos los grandes museos, cuyos trabajos han tenido una repercusión internacional. Por otro, los museos de menor entidad apenas han tenido visitas en su colección virtual, aunque actualmente se está potenciando este tipo de visitas.

3. EL USO DE LA FOTOGRAMETRÍA EN LOS MUSEOS DE LA REGIÓN DE MURCIA

La fotogrametría es una técnica cuyo uso se ha ido expandiendo a lo largo del planeta en los últimos años. Esta expansión ha sido aplicada en diversos ámbitos de la arqueología, siendo uno de los principales focos de acción el ámbito museístico. Los principales museos nacionales, y en algunos casos también los regionales, cuentan con un área de fotogrametría entre sus departamentos o bien han realizado un gran trabajo de digitalización de una parte de su colección arqueológica. Sin embargo, la fotogrametría no ha tenido un desarrollo notable en la Región de Murcia, pese a que hay destacables ejemplos. El patrimonio histórico-arqueológico de la ciudad de Cartagena es el que más trabajos fotogramétricos ha desarrollado, tanto por parte de entidades profesionales, como por aficionados.

3.1. Estado de la cuestión

Si bien los propios museos regionales no han aplicado la fotogrametría de manera reiterada a sus colecciones, vamos a encontrar diversas piezas escaneadas. El primer caso reseñable es el del Museo del Teatro Romano de Cartagena. Esta institución museística tiene publicadas en la página Sketchfab[30] varias piezas escaneadas 3D y publicadas. Se trataría de un total de dieciocho modelos, entre los que destaca el Altar de Juno, el Altar de Júpiter y el Altar de Minerva; un fragmento de un relieve que se ha interpretado como Rea Silvia y una placa epigráfica dedicada a *Lucius Caesar*, entre otras. Las piezas que el Museo del Teatro Romano de Cartagena tiene escaneadas se dividen en estas secciones: Época romana, época bizantina, época medieval, época moderna y época contemporánea. Se trata de la colección de piezas arqueológicas escaneadas más importante de la Región de Murcia y la única, hasta la fecha, realizada de manera oficial por el propio museo. Sin salir de Cartagena, hay que destacar la labor del arqueólogo y divulgador Néstor F. Marqués[31] al escanear en tres dimensiones los altares de Juno, Júpiter y Minerva; y la restitución 3D de un *lacus*[32] o fuente romana del Siglo I a.C. Junto a las labores anteriormente citadas, hay que reseñar las virtualizaciones que ha realizado la empresa navarra Arqueomodel 3D en la ciudad portuaria,

30 Sketchfab. (2017, julio 5). Museo Teatro Romano de Cartagena (@mtrc). Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/mtrc

31 Sketchfab. (2015, febrero 17). Néstor F. Marqués (@NestorMarques). Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/NestorMarques

32 Marqués, N. F. (2016, marzo 23). Lacus de Carthago Nova / Roman Fountain - 3D model by Néstor F. Marqués (@NestorMarques) [ab08465]. Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/3d-models/lacus-de-carthago-nova-roman-fountain-ab0846559f0a4a608ef66b69a7b82324

teniendo como objeto de trabajo los tres altares anteriormente citados y, como novedad, el Templo de Isis del Parque Arqueológico del Molinete[33].

A diferencia del Museo del Teatro Romano de Cartagena, el Museo Arqueológico de Murcia no ha aplicado de manera propia la fotogrametría 3D a sus piezas. Sin embargo, personal externo a la institución museística si se ha propuesto y ha realizado escaneos a diversas piezas de la colección del museo murciano. En primer lugar, aparece el Proyecto Transferencia E-Museo, de la Universidad de Murcia. Este proyecto está compuesto por José Javier Martínez García, Miguel Martínez Sánchez, Toni Flores García y Rafael González Fernández. Este equipo ha realizado la digitalización de un Kathalos, perteneciente al yacimiento del Cabecico del Tesoro. A la par de este equipo de profesionales universitarios, está el trabajo de Paloma Sánchez Allegue[34]. Formada como ingeniera de edificación, especializada en la digitalización 3D a través de diversas técnicas, habiendo desarrollado parte de su trabajo en la conservación del patrimonio a través de técnicas de virtualización. Paloma Sánchez Allegue ha digitalizado dos piezas pertenecientes a la colección del Museo Arqueológico de Murcia, un kalathos íbero y un oinochoe griego. La labor de Sánchez Allegue, junto a Rafael Melendreras Ruiz, en el ámbito de la digitalización del patrimonio abarca otras esferas, como el patrimonio religioso y procesional. Aquí se destacan dos intervenciones de suma importancia a nivel nacional: El escaneado del ángel del grupo escultórico de La Oración en el Huerto. Obra del insigne escultor Francisco Salzillo y que procesiona cada mañana de Viernes Santo por las calles murcianas. La otra intervención es el escaneado del Santísimo Cristo de la Sangre[35] (Melendreras, 2020, pp. 52-83), titular de la cofradía homónima. Obra de Nicolás de Bussy, aunque el aspecto actual se debe a la restauración de José Sánchez Lozano y Juan González Moreno. A este trabajo hay que sumarle el escaneado del angelote que acompaña al crucificado en su capilla y en su salida procesional. Estos dos trabajos son de suma importancia por varios aspectos. En primer lugar, por ser imágenes de gran devoción a nivel regional. Son dos obras insignes del patrimonio religioso y, por último, pueden abrir la veda a nuevas formas de estudio y conservación del patrimonio religioso - procesional.

33 Arqueomodel3D. (2020, mayo 24). TEMPLO DE ISIS DEL MOLINETE - CARTAGENA - Download Free 3D model by Arqueomodel3D (@juanbrualla) [a69652d]. Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/3d-models/templo-de-isis-del-molinete-cartagena-a69652df94f44d0a8c0f893931f65301

34 Sketchfab. (2017, mayo 30). Paloma Sánchez Allegue (@psallegue). Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/psallegue

35 Melendreras-Ruiz, R. (2020). Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel Workflow for 3D digitization using photogrammetry of polychrome wood carvings of the Holy Christ of Blood and his angel. 27. 52-83. 10.30827/erph.v0i27.424.

Fuera del ámbito profesional del patrimonio, hay varios ejemplos de trabajos fotogramétricos a nivel regional. En este segundo nivel siguen predominando los trabajos fotogramétricos de elementos histórico-arqueológicos de la ciudad de Cartagena. Destacan los trabajos de Juan Manuel Gómez Capilla[36], como el Santuario púnico-romano de Atargatis de Cartagena, la habitación NW del anfiteatro de Cartagena, el Martyrium de La Alberca, las casas visigodas de Begastri, en Cehegín y un ánfora de tipo Dressel encontrada en Cartagena.

Fuera del ámbito estrictamente arqueológico vamos a encontrar los trabajos de José Javier Martínez García, que abarcan distintos monumentos regionales. La gran mayoría de estos trabajos se van a concentrar en la ciudad de Murcia. La labor del arqueólogo murciano podemos clasificarla en tres grupos: Monumentos arquitectónicos, como son el escudo de los Chacones o la Puerta de las Cadenas, ambos en la Catedral de Murcia. Elementos arquitectónicos, como serán los escudos nobiliarios que actualmente se exponen en el Museo Arqueológico de Murcia y dos elementos arquitectónicos del Palacio de Aguirre (Iniciales de Camilo Aguirre y una abeja), situado en Cartagena y que se encuentran depositados en el Museo Regional de Arte Moderno. El último grupo es el correspondiente a obras de arte, donde vamos a encontrar la Virgen de la Leche, obra de Francisco Salzillo y que se encuentra expuesta en el Museo de la Catedral de Murcia.

Observando las piezas digitalizadas en la Región de Murcia se pueden extraer diversas conclusiones. En primer lugar, sólo el Museo del Teatro Romano de Cartagena es la única institución museística que ha trabajado de manera oficial con la fotogrametría. El resto de las piezas regionales digitalizadas han sido realizadas por particulares, generalmente vinculados a la investigación histórico-arqueológica. Muy importante es la labor que ha realizado el arqueólogo José Javier Martínez García, cuyo recorrido en el mundo de la fotogrametría abarca desde trabajos en la Región de Murcia, a trabajos fotogramétricos en Egipto. A nivel regional, es la persona que más ha aportado a este ámbito, formando parte del proyecto Transferencia E-Museo, de la Universidad de Murcia. Su labor es muy importante, ya que abarca desde piezas arqueológicas depositadas en museos, a yacimientos arqueológicos e incluso monumentos.

Otro dato muy interesante que se puede extraer de este trabajo es la periodización de las colecciones digitalizadas. El período romano abarca gran parte de las piezas escaneadas,

36 Sketchfab. (2018, julio 28). 3D models by 100juanmaca (@100juanmaca). Recuperado 21 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/100juanmaca/models

siendo la ciudad de Cartagena su núcleo central. El período ibérico le sigue muy de cerca, teniendo un punto clave en Jumilla. Esto demuestra las enormes lagunas que esta disciplina tiene en la Región de Murcia. La Prehistoria no tiene presencia en las colecciones digitalizadas, pese a que, en museos, como el Museo Arqueológico de Murcia, hay colecciones muy importantes a nivel nacional. Por otro lado, tenemos el período medieval, que presenta muy pocas piezas escaneadas. Por último, la presencia de piezas modernas o contemporáneas es, prácticamente, nula. Sólo el Museo del Teatro Romano de Cartagena ha digitalizado una minúscula parte de la colección de cerámica moderna y contemporánea.

3.2. Propuesta de trabajo para el Museo Arqueológico de Murcia: Selección de diez piezas susceptibles de ser escaneadas 3D

El Museo Arqueológico de Murcia es uno de los principales museos de la Región de Murcia. Entre sus paredes alberga una amplia mayoría del legado arqueológico regional y del sureste español. De sus (preguntar cuántas piezas hay expuestas en el museo) he elegido una decena de ellas que, a mi criterio, son una muestra amplia del panorama histórico de la región. A través de ellas podemos recorrer los grandes acontecimientos arqueológicos acaecidos en el territorio regional.

La función de estas diez piezas seleccionadas es la de realizar un recorrido por nuestro pasado. Son piezas representativas de su período, pero que a su vez son piezas visualmente muy atractivas. A la hora de realizar la selección he tenido en cuenta diversos aspectos, como su relevancia histórica, ser una pieza directora de su período histórico, su vistosidad y si su escaneado 3D y posterior impresión iban a resultar útiles y atractivos para la sociedad. Son piezas que, por su fisionomía, se prestan a ser palpadas.

Hay que hacer un inciso y explicar el porqué de la elección del kalathos y la lápida, dos piezas que, a priori, al palparlas no ofrecen demasiada información. Para el kalathos, propongo realizar un trabajo de alzado 3D del dibujo que lo rodea, creando de esta manera un relieve tridimensional del dibujo susceptible de ser recorrido y reconocido con las manos. De esta manera obtenemos toda la información posible, tanto el peso, la forma y el tamaño del kalathos, como toda la información posible del dibujo. La propuesta para la lápida es similar. Al realizar el escaneo mediante la técnica de la fotogrametría, obtenemos el volumen exacto. Para hacer accesible la información que ofrece la lápida, la inscripción, propongo

trabajar con la creación de un negativo de la inscripción. De esta manera el visitante podrá recorrer las letras con las manos, obteniendo toda la información posible.

Pieza	Descripción	Fotografía
Copa de pie alto	Cabezo Negro, Ugéjar, Lorca. Siglos XVII - XVI a. C / Cerámica	
Hacha de anilla lateral	Peña Rubia, Béjar, Lorca / Bronce	
Kalathos	Sepultura nº 500, Cabecico del Tesoro, Verdolay. Siglo II a. C / Cerámica	
Oinochoe	Sepultura nº 213, Cabecico del Tesoro, Verdolay, Siglos III - II a. C	
Terracota en forma de cabeza femenina	Sepultura nº 599, Cabecico del Tesoro, Verdolay. Siglo III a. C	
Vaso plástico en forma de pie con sandalia	Sepultura nº 446, Cabecico del Tesoro, Verdolay. Segunda mitad del Siglo III a. C / Cerámica	
Antefijas con bustos femeninos	Mazarrón y Lorca. Siglos II - I a. C / Terracota	
Escultura de Venus	Villa de Los Cantos, Bullas. Siglo II d. C / Mármol blanquecino	
Lápida funeraria	Miraflores, Jumilla. Siglo I d. C / Caliza	
Lucernas	Siglos IV - VI d. C	

3.3. Posibles aplicaciones de la propuesta de trabajo

La fotogrametría es una técnica que, por su versatilidad y su reducido coste económico, tiene multitud de posibles aplicaciones dentro de un entorno museístico. De cara al visitante, la integración de piezas modeladas 3D puede servir como nexo entre él y la historia. A la par, rompe con la barrera de la visión del museo como un lugar donde se va a contemplar y la única interacción posible es la lectura de carteles. La fotogrametría abre una nueva manera de exponer y entender el museo. Estos modelos tridimensionales ofrecen una nueva manera de aprender, pero, sobre todo, traen la plena inclusión de todos los colectivos. La cohabitación de piezas reales con piezas impresas 3D, adaptadas para ser tocadas, permite abrir el museo y la historia a las personas con discapacidad visual, mientras que ofrece una nueva experiencia al visitante, ya sea una persona en edad escolar o bien un visitante adulto. A continuación, se desgranan tres posibles aplicaciones de la fotogrametría en el Museo Arqueológico de Murcia.

3.3.1. Creación de un discurso museístico adaptado a las personas con discapacidad visual

La museología ha ido evolucionando con el paso de los años, llegando a cambiar el centro de interés, del objeto expuesto al visitante (Álvarez de Morales, 2013, p. 1). Hasta hace relativamente poco tiempo, la museología había sido homogénea para personas tanto para las personas con alguna discapacidad como para las que no. Esto suponía un grave perjuicio para las personas que sufrían algún tipo de discapacidad, pues su visita y su experiencia en el museo se veía perjudicada de alguna manera. A fecha de 2018, según la Secretaría de Estado de Derechos Sociales, en la Región de Murcia hay diagnosticadas 219.737[37] personas con algún tipo de discapacidad. Esto supone que una sexta parte de la sociedad murciana sufre algún tipo de inconveniente para poder visitar un museo de manera plena.

La Convención sobre los Derechos de las personas con discapacidad recoge, en su artículo 30, reconoce en el primer punto lo siguiente: *"Los Estados Partes reconocen el derecho de las personas con discapacidad a participar, en igualdad de condiciones con las demás, en la vida cultural y adoptarán todas las medidas pertinentes para asegurar que las personas*

37 Secretaría de Estado de Derechos Sociales. (2020, 12 noviembre). Base estatal de datos de personas con valoración del grado de discapacidad. Recuperado 3 de junio de 2021, de https://www.imserso.es/InterPresent1/groups/imserso/documents/binario/bdepcd_2018.pdf

con discapacidad"[38]. Dentro del primer punto se esclarece que toda persona que sufre alguna discapacidad tiene que tener acceso a los materiales culturales de una manera accesible. A continuación, expone que tienen que tener acceso a programas televisivos, a lugares de espectáculos, servicios culturales y turísticos, monumentos, lugares de importancia nacional y museos.

Si bien es cierto que los museos han avanzado de manera muy eficaz en materia de adaptabilidad a las personas que sufren alguna discapacidad, sobre todo motora, eliminando las barreras arquitectónicas y reformando el circuito expositivo para adaptarlo a sus necesidades. En el apartado de la posibilidad de realizar una visita a una persona que sufra alguna discapacidad vamos a ver como hay una segregación muy clara. Por un lado, tenemos a las personas que pueden disfrutar de la visita mediante la vista y, por otro lado, tenemos a las personas que sufren algún tipo de discapacidad visual.

La visita a un museo para una persona con discapacidad visual puede convertirse en una mala experiencia debido a la poca o nula adaptación de los circuitos museísticos a este tipo de discapacidad. Hemos de hacer hincapié en que las posibilidades de recibir información se reducen a la capacidad auditiva y a la capacidad háptica. En primer lugar, los visitantes con problemas visuales se encuentran con textos que, en muchas ocasiones, no pueden leer por el tamaño de las letras. Este mismo problema se puede trasladar a aquellos museos que ofrecen al espectador un elemento interactivo en pantallas táctiles. Incluso puede darse el caso de que un museo no ofrezca algún tipo de audioguía o ayuda del personal del museo, por lo que la visita de una persona que sufre de algún tipo de discapacidad visual puede ser una auténtica odisea, que desemboca en una mala experiencia y la negativa a volver al museo.

Sin embargo, la tecnología ha avanzado muy rápido en los últimos años, haciendo que la adaptabilidad de un museo a las personas invidentes sea una realidad latente. En primer lugar, una amplia mayoría de museos ofrecen al visitante audioguías que permiten conocer la colección expuesta. De esta manera reciben una amplia información de la exposición mediante la percepción auditiva. En los últimos años, se han ido desarrollando aplicaciones para móviles inteligentes que funcionan de manera similar a una audioguía, pero con un nivel de descripción de las piezas aún mayor, por lo que la persona con problemas visuales

38 Naciones Unidas, Asamblea General "Convención sobre los Derechos de las personas con discapacidad" (30 de marzo de 2007), disponible en: https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf

pueda tener una idea del objeto en cuestión más clara, pudiendo incluso llegar a contextualizarla. Algunos museos, en especial el Museo Arqueológico de Murcia, ofrecen durante todo el recorrido por las salas, un suelo podotáctil para guiar a las personas con discapacidad visual y, de esta manera, no poner en riesgo su integridad física y la integridad de las piezas expuestas.

Sin duda, la mejor manera que tiene una persona con discapacidad visual de recibir información es mediante el tacto. Hemos de entender que, para conseguir la inmersión total del visitante es necesario que este no sólo toque la pieza, sino que la manipule, que pueda cogerla, palpar todas sus caras y poder conocer su superficie. Por ejemplo, la superficie y el peso de un ánfora romana, tipo Dressel, es muy diferente de la textura, forma o peso de un bifaz; y esto tiene que estar muy marcado para que la persona con discapacidad visual llegue a comprender de una manera total la pieza. Es en este apartado donde los museos, en especial los arqueológicos, tienen que trabajar con mayor celeridad. Si bien es cierto que muchos museos arqueológicos ofrecen información en braille en algunas salas o piezas seleccionadas, junto con audioguías más descriptivas, la información que reciben no es suficiente para entender de manera plena la pieza. Hasta ahora, apenas unos pocos museos españoles, ninguno murciano, ofrecía la posibilidad de tocar réplicas de las piezas más significativas. Estas reproducciones se realizaban con técnicas artísticas, como la escultura. Si bien es cierto que estas piezas suelen ser bastante parecidas a las originales, el hecho de la intervención de las manos de una persona hacía que estas nos fueran idénticas.

En este campo, la fotogrametría ha abierto un sinfín de nuevas posibilidades mucho más económicas y de una manera más instantánea. El modelado 3D nos permite conseguir un modelo idéntico al original, con unos costes de producción más asequibles (siempre va a depender de la materia prima de la impresión) y unos plazos de tiempo más reducidos. Sin embargo, esta aplicación de la fotogrametría aún no se ha implantado de manera efectiva en los museos regionales. La incorporación de diversas piezas modeladas 3D al recorrido museístico, busca que las personas con discapacidad visual puedan conocer, a través del tacto, cómo es esa pieza. Sin embargo, el tacto por sí solo no revela toda la información. La pieza táctil debería ir acompañada de una audiodescripción, que podría ser una narración grabada y que se reprodujera tras pulsar un botón, o bien la descripción propiciada en ese mismo instante por el personal del museo. Tanto la pieza, como la audioguía, deberían ir acompañadas de un cartel escrito en braille que describiera la pieza en su totalidad.

Si nos centramos ahora en el Museo Arqueológico de Murcia, vamos a ver cómo es uno de los museos más adaptados de la Región de Murcia, pese a que aún tiene un largo camino hasta llegar a la plena adaptabilidad. En primer lugar, todas sus salas cuentan con un suelo podotáctil, cuyo relieve sirve de guía para las personas con discapacidad visual. En los accesos a las diferentes salas del museo encontramos un pequeño texto en braille, que contiene información sobre lo que contiene la sala a la que se entra. Sin embargo, esa es toda la información adaptada que se recibe durante la visita, ya que la institución museística no cuenta con ningún tipo de audioguía. Pese a esto, el museo cuenta con un tipo de visita adaptada a personas con discapacidad visual. Las personas invidentes acceden al museo y mientras recorren las salas, el personal del museo les realiza una explicación a la par que les permite tocar algunas piezas y reproducciones. Generalmente estas visitas son organizadas por el propio museo en colaboración con la O. N. C. E (Organización Nacional de Ciegos Españoles). Antes de la pandemia de COVID-19, se realizaban entre cinco y siete cada año.

La propuesta que yo hago es una simbiosis entre lo ya existente y la aportación a estas que puede hacer la fotogrametría y la impresión 3D. Por un lado, es vital la incorporación al museo de audioguías, bien de alquiler o mediante una app móvil. Con la audioguía se cubre el sentido del oído y se puede dar de esta manera una información más detallada sobre la colección y no sobrecargar los paneles de las salas o las cartelas de las piezas. Junto a esto, es necesario desarrollar cartelas en braille ya que, hasta el momento, la única información que reciben en braille es la información general al inicio de cada sala, o bien el propio museo te proporciona en recepción un libro con información en braille. Si bien con anterioridad he comentado que el museo realiza visitas adaptadas, en las que los visitantes pueden tocar diversas piezas y reproducciones, hay que dar un paso hacia delante e incorporar al recorrido diversas piezas notables escaneadas e impresas 3D. El objetivo es que cualquier persona, en especial las personas con discapacidad visual, puedan realizar una visita sin que tenga que estar planificada por el museo, y puedan acceder a la totalidad de la información que ofrece el Museo Arqueológico de Murcia. Un punto de partida es comenzar con el modelado e impresión de una decena de piezas táctilmente muy reconocibles, que abarquen la totalidad cronológica de la exposición. En mi caso, anteriormente, he realizado una propuesta de trabajo en base a diez piezas. Estas piezas son claves en sus períodos y son fácilmente reconocibles mediante el tacto. En primer lugar, habría que realizar la fotogrametría de cada una de ellas para, posteriormente, realizar los modelos tridimensionales. Una vez tenemos un modelo 3D, se imprime a tamaño real con una impresora 3D y, para ello, elegiremos la

impresión en resina, ya que nos ofrece una mayor calidad y una similitud muy veraz, pese a que el costo es mayor. Una vez tenemos el modelo impreso, se realiza un estudio de la superficie de la pieza original, incidiendo sí el tacto es suave o áspero (Una pieza de mármol es suave, mientras que la superficie de un ánfora, por ejemplo, es áspera). Para conseguir una superficie real es necesario trabajar con otras técnicas, desde el pulido hasta la cobertura con resinas o materiales terrosos para conseguir la mayor veracidad. Por último, se aplica una capa de pintura, para conseguir la mayor realidad visual posible. El último paso es su colocación dentro del recorrido museístico, que sería recomendable que se situara cerca de la pieza original. La pieza táctil debería estar a una altura media, para que estuviera al alcance de cualquier persona y, a ser posible, en una zona despejada, para que el visitante pudiera hacer un reconocimiento táctil 360 grados. Cerca de la pieza debería haber información en braille.

En la línea de este proyecto, encontramos el trabajo conjunto de Néstor F. Marqués y el VilaMuseu[39]. Este proyecto combina diversas técnicas, como la impresión 3D y la realidad aumentada. De este trabajo ha surgido el término "Accesibilidad Aumentada", que hace referencia a el procedimiento por el que se mejora la accesibilidad a maquetas 3D, tanto una maqueta convencional como una réplica de una pieza. El objetivo que persigue el trabajo conjunto del VilaMuseu y Néstor F. Marqués desarrolla un método para crear y gestionar colecciones 3D. Otro objetivo muy interesante es el de que estas piezas sean sostenibles, innovadoras, accesibles a todos los públicos y, sobre todo, asequibles, ya que la impresión 3D, al estar en pleno desarrollo, es una técnica muy cara.

3.3.2. La fotogrametría aplicada a la didáctica en el museo y en el centro escolar

La fotogrametría, aplicada al patrimonio arqueológico también tiene una aplicación muy útil en el campo de la educación escolar. Podemos aplicar dicha técnica en los propios museos, para incentivar la interacción de un público más joven con diversas piezas arqueológicas, con el fin de que las conozcan a fondo; o bien potenciar el conocimiento de diversos momentos históricos a través de su cultura material, previamente escaneada e impresa. Esto último sería un gran avance en la enseñanza de la asignatura de Historia.

39 Marqués, N. F. (2020, 18 diciembre). Premio internacional para la «Accesibilidad Aumentada» de Néstor F. Marqués y Vilamuseu. Recuperado 18 de junio de 2021, de http://nestormarques.com/proyecto-accesibilidad-aumentada-premio-internacional/

Los museos son centros de saber y es muy común que las instituciones educativas realicen actividades en dichos lugares, o bien personal del museo se desplace a los colegios e institutos para realizar charlas o actividades. Para poder abarcar la totalidad de este punto, es necesario dividir el apartado en dos grupos, uno dedicado a las visitas educativas al museo y otro para las actividades del museo realizadas en los colegios e institutos.

En primer lugar, hasta el comienzo de la pandemia COVID-19, sólo se realizaban actividades dentro del propio museo. Dichas actividades consistían en una visita general a la exposición, o bien una visita a una temática concreta, relacionada con el temario, como por ejemplo la colección del período romano. El propio museo tiene circuitos adaptados para cada nivel escolar. La actividad se divide en tres partes. La primera de ellas se realiza en el propio centro escolar, en la que conocerán la historia y la colección del museo. Museos de la Región de Murcia ofrece material didáctico para esta actividad. Posteriormente se realiza la actividad en el propio museo, la cual comienza con una visita guiada por la colección del museo. Tras la visita guiada general y concreta de la temática elegida, se procede a realizar una actividad educativa. Esta se puede realizar, o bien en el aula-taller del propio museo, o bien en el centro escolar. Esta actividad es diferente en función del nivel educativo. Los alumnos de cursos inferiores realizan actividades educativas mediante juegos, mientras que los alumnos de cursos superiores realizan actividades de investigación.

Sin embargo, con el estado actual de la pandemia y las recomendaciones sanitarias aplicadas a la cultura y la educación, las actividades desarrolladas en el Museo Arqueológico de Murcia han sido cambiadas por visitas virtuales. Esta actividad consiste en una visita virtual, guiada en todo momento por personal del museo. De esta manera se pretende realizar la visita tradicional de los escolares al museo, garantizando la seguridad y el cumplimiento de las normas.

Como ha quedado patente, las actividades educativas que se llevan a cabo en el Museo Arqueológico de Murcia se reducen a la visita de la colección permanente y a una posterior actividad. Sin embargo, durante la visita apenas hay interacción entre el museo y el estudiante, ya que este último se limita a observar y a escuchar, pero no se produce un verdadero acercamiento a la colección arqueológica. Este tipo de visita puede cambiar con la aplicación de los modelos escaneados mediante dos vías. En primer lugar, en la actividad inicial que se desarrolla en el propio centro educativo, los alumnos podrán observar diversas piezas digitalizadas y, de esta manera, tener el primer acercamiento a la cultura material. Un

ejemplo puede ser la combinación de una explicación sobre un tipo concreto de pieza, mientras se visualiza en Sketchfab dicha pieza. Posteriormente, en el museo, la incorporación de piezas impresas 3D y táctiles permitirían tener un total conocimiento a los alumnos. Los estudiantes no se limitarían a ver y escuchar, ahora interactuarían con la exposición, incentivando su conocimiento y haciendo la visita más amena y atractiva.

La conversión del Museo Arqueológico de Murcia de un museo convencional a un museo interactivo, un museo para todos, es un paso adelante en dos líneas. En primer lugar, en el apartado inclusivo, ya que, como he comentado con anterioridad, la puesta en sala de las piezas impresas implica que las personas con discapacidad visual puedan acceder a un mundo nuevo de información y conocimiento. En segundo lugar, implica una nueva manera de aprender[40] (Orozco, 2005), explorando el museo y las piezas táctiles.

La fotogrametría y los modelos escaneados también tienen su vertiente educativa. Con la pandemia de COVID-19, muchos museos han comenzado a realizar actividades en centros educativos y no en los propios museos. En la Región de Murcia ha surgido la iniciativa "Te llevamos el museo al colegio"[41], amparada por la Consejería de Educación y Cultura. Esta iniciativa gubernamental implica a varios museos regionales, que abarcan arte y arqueología. Estas visitas adaptadas, que consisten en la realización de una visita guiada en tiempo real, con personal del museo, permite que los alumnos tengan un acercamiento a la institución museística, sin tener que desplazarse. Sin embargo, este tipo de visita virtual, no mejora de ninguna manera las actividades que se hacían previamente a la pandemia. Si se rediseñara esta actividad con la implantación de modelos 3D de piezas del museo, incrementaría el interés del alumnado, ya que la versatilidad que ofrece el portal Sketchfab, haría que la interacción entre el alumno y las piezas tridimensionales fuera mucho mayor que una visita virtual. Por otro lado, si el museo se decidiera a escanear e imprimir diversas piezas de la colección, se podría crear una actividad conjunta entre los centros escolares y la institución museística. El personal del museo podría desplazarse por los diferentes centros educativos de la Región de Murcia impartiendo conferencias sobre el museo o sobre la cultura material de un período en concreto. Esta conferencia se complementaría con la exposición y la puesta a disposición de los alumnos de diferentes modelos 3D para que pudieran tocarlos.

40 Orozco, G (2005). Los museos interactivos como mediadores pedagógicos. Sinéctica, Revista Electrónica de Educación, (26),38-50. [fecha de Consulta 18 de junio de 2021]. ISSN: 1665-109X. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99815914005

41 CARM. (2020, 20 noviembre). CARM.es - La Comunidad diseña visitas virtuales guiadas para que los alumnos acudan a los museos durante la pandemia [Comunicado de prensa]. Recuperado 18 de junio de 2021, de https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=109265&IDTIPO=10&RASTRO=c$m59491,70

3.3.3. Uso de los modelos 3D como manera de acercar el conocimiento histórico a la ciudadanía. Un ejemplo de exposición en la calle

El ICOM (Consejo Internacional de Museos) define de esta manera lo que es un museo: *"Un museo es una institución sin fines lucrativos, permanente, al servicio de la sociedad y de su desarrollo, abierta al público, que adquiere, conserva, investiga, comunica y expone el patrimonio material e inmaterial de la humanidad y su medio ambiente con fines de educación, estudio y recreo"*. Un museo es la casa del saber, que recoge entre sus paredes nuestro legado, lo cuida y lo divulga para que la sociedad lo conozca.

Sin embargo, los museos murcianos no reciben la cantidad de visitantes estimada (Preguntar cuánta gente lo visita al año). Esto se puede deber a multitud de posibilidades que abarcarían desde el desconocimiento de lo que atesora el museo, al desinterés que genera o que no es visto como una actividad lúdica, que puede llegar a hacerse tediosa y aburrida. Por norma general se achaca a la sociedad la poca relevancia que tienen los museos, excluyendo los grandes museos nacionales. A mi juicio, aquí debemos hablar de dos aspectos, por un lado, el desinterés de la población y, por otro lado, el poco o nulo incentivo del propio museo hacia la sociedad. Hasta ahora, los museos han permanecido impávidos esperando que la población acudiera a ellos. Esto comenzó a cambiar con la aparición y auge de las redes sociales, donde los museos encontraron un hueco muy potente para captar visitantes, hueco que los museos de la Región de Murcia, en pleno 2021, aún no han sabido aprovechar.

Difundir nuestro legado es un elemento clave en cualquier museo. La divulgación ha ido evolucionando a lo largo de los últimos años, siendo cada vez más instantánea, más internacional y más barata. Por un lado, encontramos las redes sociales, capaces de conectar un museo con cualquier persona, sin importar donde se encuentre. La divulgación por redes sociales es una tarea básica y necesaria, que debe contar con un equipo propio detrás, ya que esta es la ventana de un museo al mundo. Un ejemplo de este buen hacer lo vamos a encontrar en el Museo Del Prado y el Museo Arqueológico Nacional, cuyas redes sociales son utilizadas a diario para abrir una pequeña ventana a su colección. Sus perfiles en las redes sociales reciben miles de visitas diarias, que se transforman en visitas virtuales y, posteriormente, en visitas reales al museo. Vemos, en este caso, como el museo sale de su espacio para conectar con la sociedad, sin que esta esté de manera presencial en el museo.

En este apartado, la fotogrametría tiene un amplio campo de trabajo. Si la fotografía y el vídeo son herramientas esenciales, la visualización de modelos tridimensionales abre una

ventana hasta ahora nunca vista. Las piezas pueden verse por cualquier cara, ampliando los detalles que, en la mayoría de ocasiones, en un museo no se ven. Si a esto le sumamos la incorporación de reconstrucciones virtuales, la experiencia de conocimiento y entretenimiento resulta un éxito.

Pese a todo, no debemos quedarnos resguardados en el mundo virtual. La sociedad se mueve por las calles y plazas y es allí donde los museos deben sacar sus colecciones para llamar la atención de sus conciudadanos. Sin embargo, es muy peligroso exponer fuera del museo piezas de gran valor, al alcance de la gente y que, con total seguridad, sufrirían algún tipo de daño. Por ello la fotogrametría y la impresión 3D se convierten en un potente aliado de la conservación y la divulgación.

Tomando las diez piezas que he seleccionado del Museo Arqueológico de Murcia, me dispongo a realizar una breve propuesta de trabajo, cuyo objetivo es acercar nuestro pasado a la sociedad y que, a la par, conozcan la institución museística. Partimos de las diez piezas seleccionadas que, tras haber sido escaneadas mediante la fotogrametría, han sido escaneadas a tamaño real. Estas piezas son totalmente táctiles y al ser realizadas, generalmente, con materiales plásticos, no son frágiles, por lo cual son aptas para ser expuestas fuera de los muros del museo. El Museo Arqueológico de Murcia está situado en una de las avenidas principales de la ciudad, que cada día es utilizada por miles de murcianos para pasear. El entorno es privilegiado, con una larga y amplia avenida peatonal, donde se suelen realizar exposiciones a lo largo del año. Con estos elementos, se puede proceder a montar una exposición en la que las piezas 3D estén colocadas sobre pedestales a una altura de un metro. Las piezas podrán ser palpadas por los viandantes, con el fin de conocerlas a fondo. Junto a las piezas se expondrán carteles con información y fotografías de la pieza en cuestión.

El objetivo que se persigue con esta iniciativa es acercar y presentar a la sociedad la colección del Museo Arqueológico de Murcia, de una manera diferente, donde el objeto y el espectador interactúan. Se pretende dejar atrás la idea de que el visitante sólo es un espectador, mientras se busca que ahora forme parte de la experiencia de la visita. A la par se pretende que el museo rebase sus fronteras, expandiendo el conocimiento que atesora y explore una nueva vía de divulgación.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Este Trabajo Fin de Grado ha girado en torno a la fotogrametría, en base a su aplicación al patrimonio arqueológico y su posterior uso en los museos. El campo de trabajo de esta técnica abarca desde elementos de la cultura material hasta yacimientos en su totalidad. Esta técnica está ampliamente utilizada en multitud de museos españoles, generalmente para usos de divulgación, como son las exposiciones virtuales. Por otro lado, son muy pocos los yacimientos arqueológicos que se han aventurado a aplicar la fotogrametría en sus excavaciones, generalmente enfocada a la cultura material y no al propio yacimiento.

Como se ha podido demostrar, la fotogrametría, se erige como una técnica muy útil a la hora de la divulgación, siendo este su principal campo de aplicación en la actualidad. Sin embargo, ofrece un nuevo panorama en la conservación de los elementos materiales y del propio yacimiento. Establece un punto de partida para la restauración y la anastilosis virtual, así como para el estudio volumétrico y geométrico de las piezas arqueológicas. La fotogrametría puede abrir un nuevo paradigma a la hora de la documentación y estudio de la estratigrafía arqueológica, superando en exactitud al dibujo y a la fotografía.

La fotogrametría tiene multitud de aplicaciones relacionadas con los museos. Hemos visto cómo de extendido está su uso en los museos e instituciones culturales españolas. Generalmente los museos han aplicado la fotogrametría para labores de divulgación. Sin embargo, al igual que en la excavación arqueológica, la fotogrametría puede desempeñar un papel muy importante en la conservación y en la restauración. De sus diversas aplicaciones, me he centrado en tres para realizar una propuesta de trabajo para el Museo Arqueológico de Murcia. En primer lugar, he planteado la posibilidad de aplicar la fotogrametría y la impresión 3D para realizar diez modelos táctiles. Estos modelos permitirán conocer, mediante el tacto, la pieza impresa, teniendo así un mayor acercamiento a la historia y la cultura. Con la incorporación de estos modelos táctiles el museo avanzará hasta la plena inclusión, haciendo que las visitas sean más amenas y más interactivas. A continuación, planteé la posibilidad de aplicar estos diez modelos a la enseñanza, en dos vertientes, en el museo y en el centro escolar. Los alumnos que visitasen el museo podrían interactuar con las piezas táctiles, mientras realizan la visita. Por otro lado, el museo podría realizar actividades divulgativas en los propios centros escolares, llevando para mostrar y tocar estos modelos impresos. De esta manera se realiza un aprendizaje más dinámico. Por último, he puesto de relieve la necesidad de acercar el museo a la sociedad, partiendo de la base de

utilizar estos modelos para desarrollar exposiciones en la calle, donde los viandantes puedan conocer una parte de la historia.

Tras la realización de este trabajo, se ha podido constatar que el gran problema que presenta la fotogrametría, lejos de ser un inconveniente técnico o económico, es la difusión de los resultados. Son muchos los museos, yacimientos, instituciones y academias culturales e investigadores que han aplicado dicha técnica en algún momento. Sin embargo, los resultados de estos modelados no llegan a salir del ámbito privado, por lo cual, el trabajo de divulgación queda incompleto. Continuando esta línea, otro gran problema que se presenta es la poca o nula aplicación de los modelos tridimensionales publicados en internet, ya sea en páginas webs o bien en la plataforma Sketchfab. La problemática es similar, aunque esta vez los modelos salen del ámbito privado para que la sociedad pueda contemplarlos. Son muchos los museos españoles que tienen un perfil en la plataforma Sketchfab, sin embargo, el aparato divulgativo que desarrollan una vez han hecho el modelo es, prácticamente, nulo. Estos museos, a los que también se pueden sumar diversos investigadores, no sacan todo el potencial que ofrecen los modelos y los visualizadores 3D, algunos como Sketchfab ofrece realidad aumentada. La conjunción de los modelos tridimensionales, con el auge de las redes sociales, abre un abanico muy grande de posibilidades de divulgación a nivel internacional, a la par que es una ventana a que la sociedad conozca el museo e interactúe con él.

Para concluir sólo quiero expresar que es necesario que la Historia, la Arqueología, el Patrimonio o los museos se abran a las nuevas tecnologías. Estos avances en materias como la conservación o la divulgación vienen a realizar tareas de una manera más eficaz, más rápida, más respetuosa con el patrimonio y de una manera más económica. Por otro lado, tenemos que aprovechar las ventajas que nos ofrece la fotogrametría para crear un nuevo aparato de divulgación, en el que la imagen tridimensional predomine sobre otro tipo de formatos. Por último, hay que fomentar que, tanto museos como yacimientos o instituciones culturales y patrimoniales, estén presentes y activos en internet ya que, como dijo Bill Gates, *"si tu negocio no está en internet, tu negocio no existe".*

5. BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR CAMACHO, J., GRANADO CASTRO, G., & BARRERA VERA, J. A. (2013). Aplicación de técnicas avanzadas para el registro y la documentación estratigráfica en arqueología. *Virtual Archaeology Review, 4(8)*, 130-134. https://polipapers.upv.es

ALMAGRO, A. (1992). Estado actual de las aplicaciones arqueológicas de la fotogrametría en España. En *Jornadas sobre Teledetección y Geofísica aplicadas en Arqueología* (11-14). Madrid.

ÁLVAREZ DE MORALES MERCADO, C (2013). La accesibilidad en el museo desde una perspectiva sociológica. *Revista de Estudios Jurídicos*, *13* (Segunda Época), 1-18.

ANDREU PINTADO, F. J. (2018). Museo histórico y arqueológico virtual "Los Bañales": Fotogrametría 3D al servicio de la puesta en valor del patrimonio arqueológico y de la formación universitaria. *Cuadernos del Marqués de San Adrián, 1 (Nº Extraordinario)*, 25-32.

ANDREU PINTADO, F. J. Y SERRANO BASTERRA, P. (2019). Utilidades de la fotogrametría digital 3D en la investigación epigráfica y en la transferencia social de sus resultados: El caso de del Museo Virtual de Santa Criz de Eslava. *Cuadernos del Marqués de San Adrián, 11*, 107-128.

APARICIO. P. (2021): "Guía para la documentación de reconstrucciones virtuales de bienes patrimoniales, *Revista Schema, 2,* 129-146.

APARICIO. P. (s.f). *Quienes somos.* https://parpatrimonio.com/equipo/pablo aparicio/#portfolio

ARCHIVO NACIONAL DEL PATRIMONIO 3D. (2017, 2 enero). Recuperado 24 de mayo de 2021, de http://www.patrimonio3d.uy/

ARQUEOMODEL3D. (2020, mayo 24). TEMPLO DE ISIS DEL MOLINETE - CARTAGENA - Download Free 3D model by Arqueomodel3D (@juanbrualla) [a69652d]. Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/3d-models/templo-de-isis-del-molinete-cartagenaa69652df94f44d0a8c0f893931f65301

ARCUSA MAGALLÓN, H.; ROJO, M.; ROYO GUILLÉN, J. I.; TEJEDOR, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ DE LANGRÁN, I.; GARRIDO PENA, R. (2016). La fotogrametría como alternativa al registro de materiales arqueológicos: su aplicación en la cueva de Els Trocs y Valmayor XI. En *Actas I Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés* (533-539). Zaragoza: CAPA.

BARBERÀ GINÉ, A. (2017). "Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales", *Unicum, 17*, 153-162.

CABALLERO, L.; ARCE, F., FEIJOO, S. (1996): "Fotogrametría y el análisis arqueológico", *Revista de Arqueología, 186,* 14-25.

CARM. (2020, 20 noviembre). CARM.es - La Comunidad diseña visitas virtuales guiadas para que los alumnos acudan a los museos durante la pandemia [Comunicado de prensa]. Recuperado 18 de junio de 2021, de https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=109265&IDTIPO=10&RASTRO=c$m59491,70

CHARQUERO, A.M. (2016): "Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología", *DAMA. Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico, 1*, 139-157.

CODINA-PEÑARROJA, C. (2020). Reconstrucción virtual del anfiteatro de Tarragona a través de la procesión inagural, *Virtual Archaeology Rewiev*, *11*(23), 127-140.

DORRELL, P., 1994. *Photography in Archaeology and Conservation* (Cambridge Manuals in Archaeology). Cambridge: Cambridge University Press.

FERNÁNDEZ DÍAZ, M. (2016). Reflexiones sobre la aplicación de tecnologías al trabajo arqueológico y la divulgación científica del patrimonio. *La Linde, 6,* 64-78.

GARCÍA ALCÁZAR, A. (2021). La fotogrametría aplicada al patrimonio religioso. *Rosario Corinto, 8,* 74-77. http://www.cofradiadelacaridad.com/media/revista/N08/mobile/index.html#p=75

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, F. (2010). *Museos Arqueológicos y su museografía.* Gijón: Ediciones Trea.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. (2016). *Statutes.* https://www.isprs.org/documents/statutes16.aspx

KONECNY, G. (2014). *Geoinformation – Remote Sensing, Photogrammetry & Geographic Information Systems*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. ISBN 978 14 200 68566.

LIVERANI, P. (2014). *I colori del bianco. Mille anni di colore nella scultura antica (a cura di Paolo Liverani)*. Roma: Vaticano. ISBN: 88-8016-632-8.

LLONCH MOLINA, N. Y PARISI MORENO, V. (2016). Contribuciones a la didáctica de la Historia a través del método de análisis del objeto: como ejemplo... una "vasulla". *Panta Rei. Revista Digital de Ciencia y Didáctica de la Historia, 2016,* 111-124.

MARQUÉS, N. F. (2020). *Un año en la Antigua Roma*. Barcelona: Espasa.

MARQUÉS, N. F. (2016, marzo 23). Lacus de Carthago Nova / Roman Fountain - 3D model by Néstor F. Marqués (@NestorMarques) [ab08465]. Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/3d-models/lacus-de-carthago-nova-roman-fountain-ab0846559f0a4a608ef66b69a7b82324

MARQUÉS, N. F. (2020, 18 diciembre). Premio internacional para la «Accesibilidad Aumentada» de Néstor F. Marqués y Vilamuseu. Recuperado 18 de junio de 2021, http://nestormarques.com/proyecto-accesibilidad-aumentada-premio-internacional/

MARQUÉS, N.F., (2018). Nuevas realidades: tecnología al servicio del patrimonio cultural. En MªC. Fernández-Laso y J.R. Sarmiento Guede, (Coords.) *Patrimonio cultural y marketing digital* (97-112). Madrid: Dykinson.

MARQUÉS, N.F., (2018). Tecnología al servicio del estudio y la conservación del patrimonio: el caso del Acueducto de Segovia. *En Actas II Jornadas Acueducto de Segovia. Una ciudad por y para un monumento. 16 - 22 octubre 2017 (39 – 51)*. Segovia: Ayuntamiento de Segovia.

MARQUÉS, N.F., et al. (2018). "Virtualización e impresión 3D aplicadas a la accesibilidad del patrimonio cultural. De la planificación a los acabados y los contenidos accesibles". En *5è Congrés Internacional Educació i accessibilitat a museus i patrimonio* (pp. 251 – 264). Barcelona: Institut de Cultura de Barcelona, Institut Municipal de Persones amb Discapacitat i Museu Marítim de Barcelona.

MARQUÉS, N. (2021). *Sobre mí.* http://nestormarques.com/#sobremi

MATTHEWS, N.A. (2007) Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, interpretation, and preservation. *Technical note, 428*, 1-54.

MELENDRERAS-RUIZ, R. (2020). Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel. *Revista electrónica de Historia y Patrimonio, 27*, 52-83. 10.30827/erph. v0i27.424.

MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE. (s. f.). Red Digital de Colecciones de Museos Españoles. Recuperado 8 de junio de 2021, de http://ceres.mcu.es/pages/SimpleSearch?index=true

MIÑANO, A. I.; F. FERNÁNDEZ; CASABÁN, J. L. (2013). Métodos de documentación arqueológica aplicados en arqueología subacuática: el modelo fotogramétrico y el fotomosaico del pecio fenicio Mazarrón-2 (Puerto de Mazarrón, Murcia). *Sagvntvm. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia, 44*, 99-109.

MOYA, J. A., (2017). *Fotografía y Fotogrametría subacuática aplicadas al patrimonio cultural sumergido*. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, Alicante.

MOYA MONTOYA, J. A.; MUÑOZ OJEDA, F. J. (2017). Fotogrametría de restos arqueológicos subacuáticos. El modelo del pecio Bou Ferrer. En: Frías Castillejo, Carolina; López Mira, José Antonio (eds.). *Actas de las II Jornadas de Museos y Colecciones Museográficas Permanentes de la Comunidad Valenciana: Nuevas tecnologías aplicadas a la gestión turística del patrimonio arqueológico*, 3-4 de marzo de 2017 (70-81). L'Alfàs del Pi, Alicante: Ayuntamiento de l'Alfàs del Pi. ISBN 978-84-697-7374-1.

MOYANO, G. (2017). El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación. *Comechingonia, 21*(2), 333-351.

MUSEO DEL PRADO (2018, agosto 8) *La Reina María Luisa a caballo de Goya escaneada 3d* https://www.museodelprado.es/actualidad/noticia/la-reina-maria-luisa-a-caballo-de-goya-escaneada/505956db-cbcb-fb3b-dcf2-28af14e37e82

NACIONES UNIDAS, Asamblea General "Convención sobre los Derechos de las personas con discapacidad" (30 de marzo de 2007), disponible en: https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf

OROZCO, G (2005). Los museos interactivos como mediadores pedagógicos. Sinéctica, *Revista Electrónica de Educación, 26*, 38-50. [fecha de Consulta 18 de junio de 2021]. ISSN: 1665-109X. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99815914005

PATRIMONI CULTURAL (s.f). *Giravolt. La nueva experiencia del patrimonio cultural catalán.* http://patrimoni.gencat.cat/es/giravolt

SÁNCHEZ FENOLL, Z. (2014). *Procesado fotogramétrico a partir de imágenes digitales y generación de datos espaciales para modelo 3D*. Trabajo Fin de Máster, Universidad Politécnica de Valencia.

SANTACANA, J. Y LLONCH, N. (2012). *Manual de didáctica del objeto en el museo.* Gijón: Ediciones Trea.

SECRETARÍA DE ESTADO DE DERECHOS SOCIALES. (2020, 12 noviembre). Base estatal de datos de personas con valoración del grado de discapacidad. Recuperado 3 de junio de 2021, de https://www.imserso.es/InterPresent1/groups/imserso/documents/binario/bdepcd_2018.pdf

SKETCHFAB. (2014, 17 septiembre). Museu d'Arqueologia de Catalunya (@macb3d). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/macb3d

SKETCHFAB. (2015, 4 diciembre). Museo Arqueológico Nacional (@man). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/man

SKETCHFAB. (2015, abril 21). Los Bañales - Museo Virtual (@banalesmuseovirtual). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/banalesmuseovirtual

SKETCHFAB. (2015, febrero 17). Néstor F. Marqués (@NestorMarques). Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/NestorMarques

SKETCHFAB. (2015, noviembre 2). Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (@rabasf). Recuperado 13 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/rabasf

SKETCHFAB. (2016, 16 junio). Museu de les Terres de l'Ebre (@MuseuTE). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/MuseuTE

SKETCHFAB. (2016, abril 14). Torrello Museum (@torrellomuseum). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/torrellomuseum

SKETCHFAB. (2016, agosto 11). Vilamajor Museu Virtual (@museuvirtualvilamajor). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museuvirtualvilamajor

SKETCHFAB. (2016, agosto 29). Museo Virtual Alto de La Cruz (Cortes-Navarra) (@maccvirtual). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/maccvirtual

SKETCHFAB. (2016, enero 29). Museo de Pontevedra (@museodepontevedra). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museodepontevedra

SKETCHFAB. (2016, marzo 23). ICAC (@imatias). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/imatias

SKETCHFAB. (2016, noviembre 10). Museos de Galicia (@Museos_de_Galicia). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/Museos_de_Galicia

SKETCHFAB. (2017, 26 abril). MAEF - museo virtual (@MAEFmuseovirtual). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/MAEFmuseovirtual

SKETCHFAB. (2017, abril 24). El Museo Canario (@elmuseocanario). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/elmuseocanario

SKETCHFAB. (2017, enero 30). Museum of Jaén (@museo-de-jaen). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museo-de-jaen

SKETCHFAB. (2017, julio 4). ArqueoPC Museo (@arqueopc). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/arqueopc

SKETCHFAB. (2017, julio 5). Museo Teatro Romano de Cartagena (@mtrc). Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/mtrc

SKETCHFAB. (2017, mayo 30). Paloma Sánchez Allegue (@psallegue). Recuperado 6 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/psallegue

SKETCHFAB. (2017, noviembre 1). Santa Criz - Museo Virtual (@santacrizmv). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/santacrizmv

SKETCHFAB. (2017, noviembre 9). Guarrazar Virtual (@alevicente.navarro). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/alevicente.navarro

SKETCHFAB. (2017, octubre 10). Vilamuseu (@vilamuseu). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/vilamuseu

SKETCHFAB. (2017, octubre 27). Museo Arqueológico Benahoarita (@museo_benahoarita). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/museo_benahoarita

SKETCHFAB. (2018, 3 abril). Museu d'Historia de Manacor (@MuseuManacor). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/MuseuManacor

SKETCHFAB. (2018, enero 24). BouFerrer (@bouferrer). Recuperado 10 de febrero de 2021, de https://sketchfab.com/bouferrer

SKETCHFAB. (2018, julio 28). 3D models by 100juanmaca (@100juanmaca). Recuperado 21 de marzo de 2021, de https://sketchfab.com/100juanmaca/models

SKETCHFAB. (2021, abril 22). Busto de diosa de influencia mediterránea (MAM) - model by alvaroga97 (@alvaroga97) [2e6620c]. Recuperado 17 de mayo de 2021, de https://sketchfab.com/3d-models/busto-de-diosa-de-influencia-mediterranea-mam-2e6620cd86d04692b014e793647974f2

THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART. (s. f.) *View of Egypt.* https://www.metmuseum.org/art/collection/search/291430

VAN DAMME, T. (2015). Computer Vision Photogrammetry for underwater archaeological site recording in a low-visibility environment. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 40*, 231-238.

ZARUR CORTÉS, J. E. (2014). *El diseño de obra plástica tridimensional para personas con discapacidad visual, a partir de los principios de la percepción háptica y auditiva*. Tesis doctoral. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Ciudad de México.

ZARUR CORTÉS, J. E. (2017). La construcción del derecho a la cultura. La apreciación del arte pictórico para las personas con discapacidad visual The construction of the right to culture / The appreciation of pictorial art for the visually impaired. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 8(15*), 474-504. https://doi.org/10.23913/ride.v8i15.307

ZARUR CORTÉS, J. E. (2018). *La ceguera. Entre los materiales hápticos y el conocimiento del arte.* Ciudad de México, México.

ZARUR CORTÉS, J. E. (2021). Propuesta metodológica para el desarrollo de E-ISSN: 2344–9551 MATERIALES HÁPTICOS para recibir visitantes con discapacidad visual en los museos de México. *UCES.DG · enseñanza y aprendizaje del diseño, 14*, 36-45.

6. ANEXO

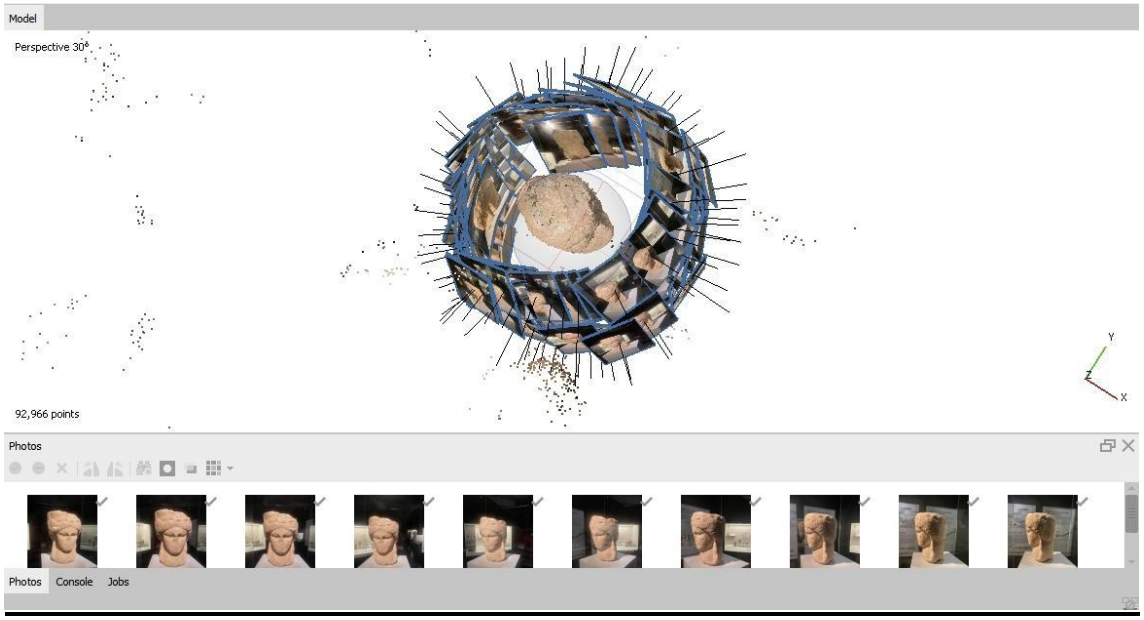

Lámina 1: Alineado de fotografías en AGISOFT Photoscan. Autor: Álvaro García Alcázar.

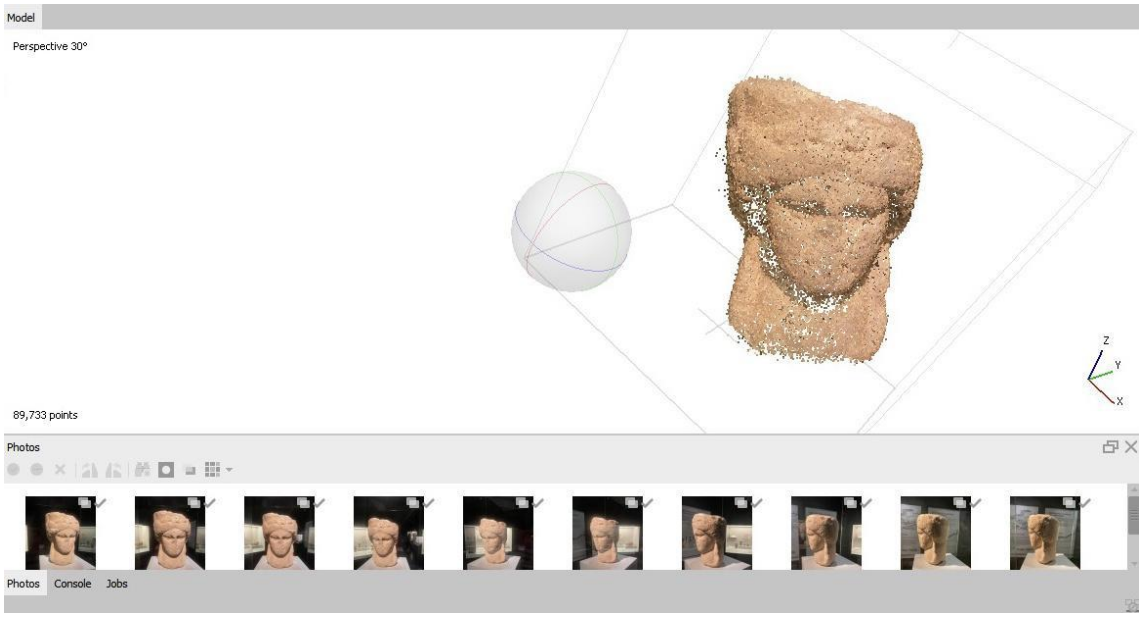

Lámina 2: Construcción de la nube de puntos densa en AGISOFT Photoscan. Autor: Álvaro García Alcázar.

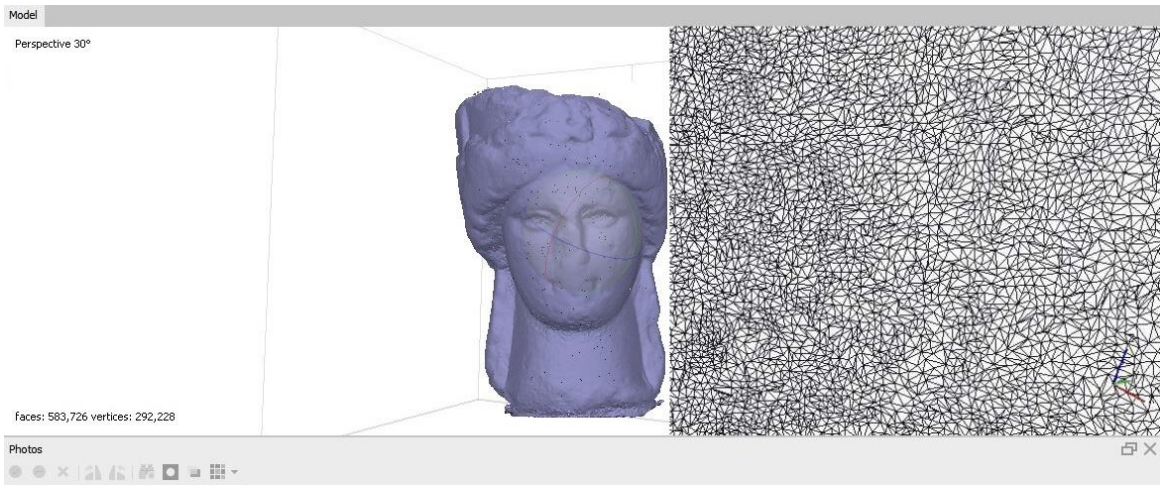

Lámina 3: Construcción de la malla en AGISOFT Photoscan y muestra ampliada de la malla. Autor: Álvaro García Alcázar.

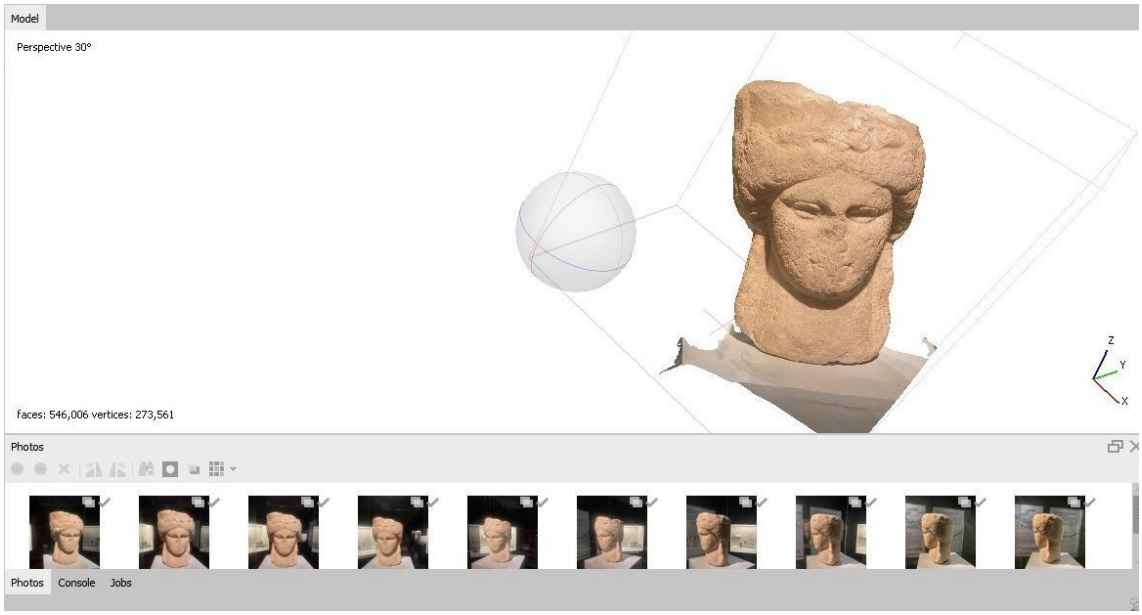

Lámina 4: Construcción de la textura en AGISOFT Photoscan. | Autor: Álvaro García Alcázar.

Modelo 3D del "Busto de diosa de influencia mediterránea"

¡ESCANÉAME!

Lámina 5: Enlace Qr a vídeo con modelo tridimensional del busto táctil sobre un pedestal. | Autor: Álvaro García Alcázar.

MAM - Pieza ibera: Kalathos

3D Model

Lámina 6: Modelo tridimensional de un Kalathos, perteneciente a la colección ibérica del Museo Arqueológico de Murcia | Autor: Paloma Sánchez Allegue.

Acotado funerario de los Atilios (siglo I d.C.)

3D Model

Lámina 7: Modelo tridimensional, con anotaciones, de un Acotado funerario de los Atilios, perteneciente al Museo Virtual de Los Bañales. | Autor: Museo Virtual de Los Bañales.

Lámina 8: Infografía que muestra los diversos elementos que intervienen en el proceso de documentación, para la realización de una reconstrucción virtual. | Autor: Pablo Aparicio.

Lámina 9: Muestra de dibujo arqueológico obtenido mediante la aplicación de la fotogrametría. | Autor: José Ignacio Royo Guillén.