



UNIVERSIDAD DE GRANADA

Programa de Doctorado en Historia y Artes

Departamento Prehistoria y Arqueología

TESIS DOCTORAL

La Aplicación de la Fotogrametría (*SFM*) y
las Nuevas Tecnologías para la Mejora de
la Documentación, Difusión y Divulgación
del Patrimonio Arqueológico

ALEXIS MALDONADO RUIZ

Directora:

M^a Isabel Fernández García

Granada 2019

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Alexis Maldonado Ruiz
ISBN: 978-84-1306-484-0
URI: <http://hdl.handle.net/10481/62261>

A mis padres, por todos estos años de ausencia que me han devuelto en forma de amor incondicional, a mis abuelos por dármelos y a mi hermano por su infinita paciencia. A todos, perdón por esos momentos que no estuve ahí.

RESUMEN / ABSTRACT

La presente tesis se enmarca dentro de la creciente dinámica de las Humanidades Digitales y, más concretamente, hacia la cada vez mayor informatización de una disciplina como es la Arqueología. De esta forma, y adoptando como base una herramienta tan versátil, precisa y eficiente como es la Fotogrametría SfM, también conocida como convergente o multimagen, abordaremos una de las principales problemáticas que derivan del estudio del pasado: la correcta conservación y documentación de unos restos de naturaleza tan frágil. Para ello, y con el objetivo de trazar un marco de actuación más abordable, la tesis se centra en resolver algunas de las ventajas y desventajas que existen en la gestión digital del patrimonio de pequeño y mediano tamaño.

Los modelos virtuales producido mediante esta técnica de digitalización se convierten, por tanto, en una materia prima con un extraordinario potencial analítico y divulgativo en el que es necesario profundizar.

Con este objetivo en mente se ha tratado de trazar diversas propuestas metodológicas en torno al posible uso de estos modelos tridimensionales, analizando la viabilidad de cada una de ellas sobre material arqueológico de naturaleza muy diversa.

Las Herramientas de reconstrucción, restauración y recreación virtual, el cálculo volumétrico digital, la comparación y clasificación precisa mediante nubes de puntos, la adaptación de técnicas tradicionales de fotografía computarizada como la *Reflectance Transformation Imaging* a escenarios y materiales puramente digitales, el uso de herramientas de tratamientos de imagen como Dstretch en formatos tridimensionales o la creación de réplicas tiflológicas mediante las nuevas tecnologías de impresión 3D, son algunas de las técnicas abordadas durante el transcurso de este discurso.

Keywords / palabras clave: fotogrametría convergente, fotogrametría multimagen, SfM, RTI virtual, Dstretch, patrimonio, humanidades digitales

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. PRESENTACIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Agradecimientos	6
2 CAPITULO II: INTRODUCCIÓN.....	11
2.1 Presentación del apartado.....	11
2.2 La gestión integral del patrimonio histórico-arqueológico de mediano y pequeño tamaño. Problemáticas y posibilidades	11
2.2.1 ¿Qué es el patrimonio?	11
2.2.2 El patrimonio de pequeño y mediano tamaño: concepto y definición....	15
2.2.3 Protección y conservación del patrimonio. Una necesidad real.....	16
2.2.3.1 <i>Hacia una tutela y protección del patrimonio a nivel mundial</i>	<i>20</i>
2.3 Estado actual de la cuestión. Humanidades Digitales, Arqueología Virtual, Nuevas tecnologías y Patrimonio Histórico-Arqueológico	40
2.3.1 La generalización de las herramientas informáticas en Arqueología	45
2.3.2 Las nuevas tecnologías informáticas como herramientas potenciales en la gestión y conservación del registro arqueológico	48
2.3.3 Beneficios y perjuicios derivados del uso de las NN.TT.	51

3 CAPÍTULO III: PROPUESTA METODOLÓGICA..... 55

3.1 Presentación del apartado.....55

3.2 La Técnica Fotogramétrica.....55

3.2.1 Un recorrido histórico 57

3.2.2 Posibilidades de aplicar la fotogrametría en el patrimonio arqueológico de pequeño y mediano tamaño..... 70

3.3 Un modelo cualquiera en fotogrametría SfM.....72

3.3.1 *Softwares* y equipo empleado..... 74

3.3.1.1 *Softwares*..... 74

3.3.1.2 *Equipo informático*..... 80

3.3.1.3 *Equipo fotográfico*..... 81

3.3.2 Flujos de trabajo específicos 81

3.3.2.1 *Flujo de trabajo 1. Fotogrametría de Laboratorio* 82

3.3.2.2 *Flujo de trabajo 2. Fotogrametría de Campo a pequeña escala* 102

3.3.3 Comparando *Softwares*. Agisoft Metashape y Reality Capture 103

3.3.4 Las limitaciones de la Fotogrametría SfM 107

3.4 El Post-Procesado en Fotogrametría SfM ¿Para qué sirve un modelo 3D?..... 110

3.4.1 La fotogrametría aplicada a la conservación, reconstrucción, recreación y restauración del patrimonio 111

3.4.1.1 *Diferencias entre restauración, reconstrucción y recreación virtual*..... 112

3.4.1.2	<i>La reconstrucción del pasado a través de un presente material.....</i>	115
3.4.1.3	<i>Problemáticas en torno a la necesidad de obtener perfiles precisos</i>	119
3.4.1.4	<i>¿Cuáles son las posibilidades de las herramientas de reconstrucción digital?</i> 123	
3.4.2	La fotogrametría SfM, una forma más exacta y dinámica de representación arqueológica	124
3.4.3	La fotogrametría SfM y el análisis morfométrico digital.....	128
3.4.3.1	<i>Mediciones precisas</i>	130
3.4.3.2	<i>Cálculos volumétricos.....</i>	131
3.4.3.3	<i>Clasificación tipológica a partir de nubes de puntos.....</i>	135
3.4.4	<i>Reflectance Transformation Imaging</i> de tipo virtual	139
3.4.4.1	<i>En torno al uso combinado de Reflectance Transformación Imaging y fotogrametría.....</i>	147
3.4.4.2	<i>La creación del escenario digital en Blender</i>	148
3.4.4.3	<i>Comando de Automatización</i>	152
3.4.4.4	<i>RTIBuilder y RTIViewer</i>	154
3.4.4.5	<i>Estrategias de retopología, regularización geométrica y bakeado aplicadas a la optimización del RTI Virtual.....</i>	159
3.4.4.6	<i>Drones, RTI o cómo afrontar la inaccesibilidad del patrimonio arqueológico</i> 166	
3.4.4.7	<i>Usos y posibilidades del RTI Virtual.....</i>	170
3.4.5	La aplicación de Mapas Digitales de Elevaciones (DEM) en el patrimonio de pequeño y mediano tamaño	174
3.4.6	La fotogrametría SfM y el tratamiento de imagen con Dstretch	179
3.4.6.1	<i>El formato Wavefront. Gestión y manipulación de una imagen digital de síntesis (IDS)</i>	182
3.4.6.2	<i>¿Qué es Dstretch?.....</i>	185

3.4.6.3	<i>Análisis de imagen sobre modelos fotogramétricos. El uso de Dstretch más allá de la representación bidimensional.....</i>	188
3.4.7	El registro mediante fotogrametría SfM para una documentación arqueológica de calidad	196
3.4.7.1	<i>Fotogrametría de Campo</i>	196
3.4.7.2	<i>Excavación, prospección y gestión del patrimonio arqueológico. Una cuestión de tiempo</i>	197
3.4.8	Fotogrametría, Arqueología Pública y la mejora de la experiencia turística. El turismo 2.0	203
3.4.9	Fotogrametría SfM e impresión 3D. La accesibilidad y difusión del Patrimonio.....	213
3.4.9.1	<i>La rematerialización del contexto arqueológico digital</i>	215
3.4.9.2	<i>Réplicas tiflológicas</i>	220
3.4.10	La Fotogrametría como herramienta para la docencia.....	225
3.4.10.1	<i>Sketchfab y la visualización online</i>	229
3.4.10.2	<i>Laboratorios de medios y makerspaces: lugares de aprendizaje y creación</i> 230	

4 CAPÍTULO IV: CASOS DE ESTUDIO..... 235

4.1 Presentación del apartado..... 235

4.2 Los Villares de Andújar. 235

4.2.1 Contexto histórico-arqueológico..... 235

4.2.2 Fotogrametría SfM y postprocesos sobre la cerámica de los Villares de Andújar. Un enfoque necesario 241

4.3	Fotogrametría aplicada a los moldes de <i>Terra Sigillata</i> Hispánica de los Villares de Andújar (Jaén, España). El cálculo volumétrico digital	242
4.3.1	Experimentación y análisis	244
4.3.2	Resultados	245
4.3.2.1	<i>Resultados 1: Modelos fotogramétricos</i>	245
4.3.2.2	<i>Resultados 2: Cantidad de arcilla necesaria para la producción de un molde de Terra Sigillata Hispánica de los Villares de Andújar (Jaén, España)</i>	271
4.3.2.3	<i>Resultados 3: Cantidad de arcilla necesaria para la producción de una pieza de Terra Sigillata Hispánica de los Villares de Andújar (Jaén, España)</i>	274
4.3.2.4	<i>Resultados 4: Capacidad volumétrica de los recipientes de Terra Sigillata Hispánica de los Villares de Andújar (Jaén, España)</i>	277
4.4	Fotogrametría, Modelos Digitales de Elevaciones y RTI Virtual aplicado a la <i>Terra Sigillata</i> Hispánica del complejo alfarero de Los Villares de Andújar.	279
4.4.1	Experimentación y análisis	282
4.4.2	Resultados	291
4.5	Cerámica pintada de tradición Ibérica de los Villares de Andújar. El tratamiento de Imagen con Dstretch y las réplicas tiflológicas	338
4.5.1	Experimentación y análisis	342
4.5.2	Resultados	344
4.6	El patrimonio arqueológico prehispánico I. Colección SAS Yucatán	367
4.6.1	Experimentación y análisis	370

4.6.2	Resultados	371
4.7	El patrimonio arqueológico prehispánico II. Colección SAS	
	Nevado de Toluca.....	390
4.7.1	Experimentación y análisis	394
4.7.2	Resultados	399
4.8	El patrimonio arqueológico prehispánico III. Colección del Museo	
	Instituto de América de Santa Fe – Centro Damián Bayón	416
4.8.1	Experimentación y análisis	417
4.8.2	Resultados	418
4.9	Proyecto “Conectados al pasado: modelos 3D de la colección	
	didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)” ...	430
4.9.1	Experimentación y análisis. Una herramienta docente, educativa y de difusión	433
4.1.1	Resultados	435
4.10	Auge y Futuro de la Fotogrametría. Hacia una arqueología a	
	Distancia, Pública y más Social	473
4.11	Presentación página Web. Una Página para para gestionarlos a	
	todos. Un Página para encontrarlos, un Página para atraerlos a todos y	
	atarlos a la fotogrametría.....	475
5	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	477
5.1	Presentación del apartado.....	477

5.2	Discusión de los resultados.....	477
5.3	Conclusiones	479
6	FUTURAS LÍNEAS DE ACTUACIÓN.....	487
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	489
8	ANEXOS.....	1
8.1	Índice de tablas y figuras por Capítulo	1
8.2	Glosario de términos	41
8.3	Fichas de control y reportes fotogramétricos.....	53
8.3.1	Colección de Moldes de <i>Terra Sigillata</i> Hispánica.....	53
8.3.2	Colección de <i>Terra Sigillata</i> Hispánica.....	53
8.3.3	Colección de Cerámica Pintada Tradición Ibérica	53
8.3.4	Colección SAS Yucatán.....	53
8.3.5	Colección SAS Nevado de Toluca.....	53
8.3.6	Colección Centro Damián Bayón	54
8.3.7	Colección Proyecto Medialab “Conectados al pasado: modelos 3d de la colección didáctica del departamento de prehistoria y arqueología (UGR)”	54
8.4	Modelos tridimensionales (.obj).....	54
8.5	Modelos laminados para impresión 3d (.gcode)	54
8.6	Videos	54

1. PRESENTACIÓN

La presente tesis doctoral aborda algunas de las ventajas y problemáticas que existen en torno a la gestión digital del patrimonio de pequeño y mediano tamaño.

Igualmente, se inserta en el proyecto de I+D financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España “Producción y adquisición de cerámicas finas en el proceso de configuración de las comunidades cívicas de la Bética y la Hispania Meridional durante el Alto Imperio Romano (HAR2016-75843-P)”. Cuenta además con la financiación del programa de contratos predoctorales FPU del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (FPU14/05942).

El patrimonio como evidencia del pasado es una materialidad contradictoria que, a pesar de permanecer años incólume custodiada por capas de tierra, puede volverse una realidad frágil una vez al descubierto. Desgraciadamente, cada día son más las noticias que ponen en evidencia esta fragilidad. Nadie habría imaginado hace un año que un símbolo del patrimonio europeo como la Catedral de *Notre-Dame*, pudiese ser devorada por las llamas en solo unas pocas horas. *Notre-Dame* es solo un ejemplo más de una pérdida patrimonial, a nivel mundial, cada vez más frecuente. No debemos olvidar que, a pesar de las guerras y los desastres naturales, el olvido y la dejadez es, a día de hoy, el mayor riesgo al que se enfrenta nuestro patrimonio. La difusión y la puesta en valor son, sin duda, dos líneas de actuación necesarias para que la sociedad sea realmente consciente de qué es lo que está perdiendo. Solo así, haciendo a la sociedad partícipe de este sentimiento de pérdida, será posible limitar la destrucción de este tipo de recursos.

A este respecto, la evolución tecnológica de los últimos años ha terminado generando herramientas de carácter digital que propician nuevas formas de registrar y conservar la realidad arqueológica y, en definitiva, el patrimonio.

Nuestro estudio pretende por tanto una aproximación de carácter cuantitativo y cualitativo. No se limitará por tanto a la recolección de evidencias empíricas, en nuestro caso material previamente digitalizado, sino que tratará de extraer juicios y valores

acerca de ellos. Con este propósito, se usarán como base los materiales generados mediante la fotogrametría *Structure From Motion*, una de las técnicas de digitalización tridimensional que más relevancia tiene en el marco de las Humanidades Digitales y, especialmente, en la Arqueología Virtual.

Con el objeto de obtener unas conclusiones lo más acertadas posibles, la aplicación de los distintos flujos metodológicos, los cuales serán desglosados específicamente, se ha llevado a cabo sobre varios conjuntos de materiales de naturaleza, geografía y cronología diversa.

Las conclusiones que deriven de los siguientes casos de estudio pretenden aportar una nueva perspectiva de cuáles son las posibilidades reales de usar fotogrametría *Structure from Motion*, también conocida como multimagen o convergente, en consonancia con otros *software* y herramientas digitales de postprocesado. El modelo fotogramétrico en bruto es solo la punta de un iceberg cuyas posibilidades apenas estamos rasgando, pero las cuales sería sumamente beneficioso explorar.

Con el fin de presentar la información de la mejor manera posible, la tesis ha sido dividida en cuatro grandes capítulos, con sus correspondientes subapartados.

En el capítulo II abordaremos el marco teórico en el cual se ubica la tesis. En primer lugar, analizando un concepto tan sumamente subjetivo como es el del patrimonio y como su concepción e importancia han ido evolucionando con el paso de los años. Igualmente, abordaremos el estado de la cuestión en torno a las denominadas como Humanidades Digitales y a las nuevas opciones metodológicas que derivan de este complejo *maremagnum*.

El capítulo III se centrará en describir qué es la fotogrametría, su evolución y qué resultados pueden obtenerse de ella actualmente. Para ello, trataremos de comparar dos de los *softwares* más potentes del mercado: Agisoft Photoscan y Reality Capture. Del mismo modo, será sobre este material digital, donde aplicaremos y explicaremos las consiguientes propuestas metodológicas. Por un lado, el potencial de la fotogrametría para conservación y restauración del patrimonio. En segundo lugar, su uso en

conjunción con herramienta de análisis virtual con las que será posible llevar a cabo mediciones, cálculos volumétricos y capacitivos o, incluso, de comparación tipológica. En tercer lugar, mostraremos cómo es posible la aplicación de RTI en un entorno completamente virtual y a partir de modelos fotogramétricos de alta resolución. Junto a ello, se abordarán igualmente los beneficios de emplear Modelos Digitales de Elevaciones (DEM). En cuarto lugar, se analizarán cuáles son las posibilidades de combinar la fotogrametría con programas de tratamiento de imagen por decorrelación como *Dstrecht*, un *plugin* del *software* ImageJ. En quinto lugar, se hace necesario comentar por qué el uso de la fotogrametría resulta tan útil para el registro y documentación de la actividad arqueológica. En sexto lugar, se abordará la importancia de la fotogrametría en la mejora de la experiencia turística (turismo 2.0) y su papel en la configuración de la denominada como Arqueología Pública. En séptimo lugar, examinaremos los beneficios de emplear esta técnica de digitalización en actividades conducentes a la mejora de la accesibilidad del patrimonio en personas con o sin discapacidad. Por último, se debatirá sobre cuál es el potencial docente de esta herramienta ahondando en conceptos como laboratorio de medios o *makerspace*.

El capítulo IV nos servirá para presentar los resultados de nuestro trabajo, a través de la exposición pormenorizada de toda una serie de casos de estudio compuesto, como comentábamos anteriormente, por conjuntos de materiales muy diversos: los moldes de *terra sigillata*, la *terra sigillata isturgitana* propiamente dicha y la cerámica pintada de tradición ibérica de este mismo complejo alfarero, compondrán un primer y principal bloque de análisis. Por otro lado, las colecciones de la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH y algunas piezas rescatadas del Instituto de América - Centro Damián Bayón, serán igualmente incluidas en este apartado. El último apartado lo compone la colección del proyecto Medialab Virtual3DUGR. Sobre este material tan diverso se aplicaron, de forma sistemática, los flujos metodológicos descritos en el segundo capítulo.

Por último, el capítulo V se centrará en desarrollar la discusión sobre los datos y resultados obtenidos, así como las propias conclusiones.

Junto a estos cuatro apartados, que constituirán los pilares básicos de esta tesis doctoral, decidimos incorporar la presentación, la cual se corresponde al Capítulo VI, nuestras futuras líneas de actuación, la bibliografía, un complejo apartado de anexos y un necesario glosario de términos el cual, esperamos, resulte de utilidad.

1.1 Justificación

El presente estudio persigue aportar una visión dual sobre lo que implica abordar la realidad patrimonial, o el contexto arqueológico, a través de un enfoque puramente digital. Esta dualidad deriva de la necesidad de justificar una aproximación tanto cuantitativa como cualitativa. De nada sirve producir modelos tridimensionales del medio tangible, si después no somos capaces de obtener conclusiones lógicas y útiles de estas réplicas digitales.

Debemos evitar caer en la banalidad del modelo por el modelo. De nada sirve poseer la documentación más precisa, si no somos capaces de darle una verdadera utilidad. El registro documental del patrimonio debe ser un acto riguroso y acorde con los principios rectores establecidos en documentos de carácter oficial, pero debe además proporcionar un rédito académico y social consecuente. El objeto arqueológico es, entre otras muchas cosas, un contenedor del transcurrir pasado, presente y futuro. Un elemento documental del que podemos extraer información casi infinita, pero que para ello debemos registrar y conservar de manera oportuna. Dado que es el testigo de nuestro propio desarrollo, es nuestra obligación aplicar sobre él los procedimientos y técnicas más novedosos de documentación, conservación y análisis.

El interés de la presente tesis gira en este mismo sentido, aportar nuevos enfoques para la conservación y el uso de elementos arqueológicos digitalizados mediante fotogrametría.

1.2 Objetivos

El objetivo central que se persigue con este proyecto de tesis es la creación de un flujo de trabajo basado en la aplicación de las nuevas herramientas informáticas, y concretamente de la fotogrametría *SfM* y el postprocesado con Blender, en el patrimonio arqueológico de pequeño y mediano tamaño. De esta forma, intentaremos trazar un marco metodológico específico pero que sea perfectamente extrapolable a cualquier período cronológico, material y actividad arqueológica. Y, en definitiva, aportar una nueva forma de contribuir entender, conservar, representar y divulgar el patrimonio cultural en general, y la realidad arqueológica en particular.

De este objetivo principal se derivan, a su vez, los siguientes objetivos específicos:

- Evidenciar el enorme potencial de una técnica de digitalización como es la fotogrametría convergente (*SfM*).
- Valorar las posibilidades que este tipo de materiales, una vez digitalizados, tendría de cara a su empleo para análisis científicos mínimamente invasivos.
- Ahondar en las posibilidades que tiene trabajar con materiales de naturaleza digital, generados a partir del escaneado fotogramétrico. Mediante la creación de repositorios o colecciones de referencia online, podemos eliminar las barreras impuestas por la distancia y conseguir que una comunidad científica mucho más amplia tenga acceso a estos materiales. Con ello, perseguimos también la creación de nuevos lazos y sinergias de cooperación entre instituciones universitarias y especialistas de todo el mundo.
- La necesidad de hacer partícipe a la población de su propio pasado ha sido, de hecho, un aspecto no suficientemente cuidado por nuestra disciplina y que repercute de forma muy directa en la conservación del mismo. Por ello, pretendemos ahondar en las posibilidades que este procedimiento tiene cara a la difusión de este patrimonio dentro de un público no especializado. La fotogrametría

SfM, sumada a las posibilidades que derivan de su postprocesado, se convierte en herramientas tremendamente útil y atractiva para dicha tarea.

- Estudiar el potencial de estas nuevas herramientas informáticas de cara a su aplicación en el ámbito docente, tanto universitario como en niveles educativos previos.
- Por último, y por encima de todo, es necesario abordar el valor y las problemáticas que surgen al aplicar estas nuevas tecnologías. Gracias a ello, podremos garantizar la conservación efectiva del propio patrimonio.

1.3 Agradecimientos

Aquellos que me conocéis sabéis que soy un hombre de pocas palabras, parco en los agradecimientos públicos y tremendamente introvertido. Al iniciar la escritura de esta tesis doctoral, nunca habría imaginado que un apartado a priori tan sencillo como los agradecimientos iba a terminar convirtiéndose en una tarea casi tan ardua como la propia redacción de esta. No obstante, como una vez me dijo un amigo, y con toda la razón del mundo, “es de bien nacidos ser agradecidos”. Sois tantas las personas a las que deseo transmitir mis agradecimientos y tan pocas las fuerzas y capacidad creativa que ya me queda que pido disculpas de antemano por la poca justicia que os haré.

El protocolo habrá de perdonarme, pero los primeros a los que debo dar las gracias son mis padres. Ellos me dieron la educación, el amor y los medios necesarios para afrontar este complicado trabajo, incluso cuando yo mismo no creía en mí. Todo ello a cambio de tan poco que el término altruismo apenas serviría para esbozar parte de su esfuerzo. Papá, mamá, os quiero.

A mi querida abuela, por las velas que sé que me puso, su paciencia y su cariño ilimitado. Al pequeño de la familia, mi hermano, mi amigo y quien, en el fondo, sabe lo mucho que lo quiero.

A lo largo de esta investigación he contado igualmente con el inestimable apoyo de mi directora de tesis, María Isabel Fernández García, por los medios y el valioso apoyo brindado le estoy enormemente agradecido. A todo el equipo del proyecto *Isturgi*, que tuvo a bien acogerme hace ya más de cuatro años y aguantar mi constante angustia vital: Manuel, Ismael, Pablo, Victoria y Begoña, sois extraordinario.

Durante mis últimos años de formación predoctoral conocí a dos personas que han marcado profundamente mi vida personal y mi carrera como investigador. Los largos y calurosos veranos en Granada siempre han sido mucho más amenos gracias a Alberto Dorado Alejos y Alejandra García García (mi Sandra), dos extraordinarios profesionales y amigos que consiguieron mostrarme una faceta mucho más amable de la Universidad, animarme en los momentos más difíciles e invitarme a comer, que siempre está bien.

Y hablando de comida, no puedo olvidarme de Jorge Rouco, quien además de orientarme, corregirme y aconsejarme durante la redacción de la tesis me mantuvo sano a base de exquisitos potajes. Cristina Martínez, también me acuerdo de ti en estas breves líneas, de tu apoyo moral, tus memes y de tus deliciosas tartas de chocolate. De verdad, no sé qué habría hecho sin vosotros.

De todas las vivencias y recuerdos de este periplo universitario atesoro con especial cariño mi estancia de investigación en la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología. Siempre recordaré estos tres maravillosos meses rodeado por la calidez y profesionalidad del increíble equipo que me acogió: Josué, Andrés, Pamela, Mariana, Cristina, Raúl, Eduardo, Samuel, Octavio, Alberto, Salvador, muchas gracias de corazón. Por ayudarme con todas las gestiones merecen una especial mención Flor Trejo, Roberto Junco y mi queridísimo amigo Saúl Guerrero, quien consiguió que volviese sano y salvo a España, a pesar del terrible terremoto que nos tocó vivir. Creo que lo que une un seísmo nada lo puedo romper, ni siquiera la distancia.

De mis correrías al otro lado del charco me llevo también otra grandísima amistad de la que no puedo estar sino agradecido. Un amigo, un maestro y un viajero infatigable que ha tenido a bien invitarme y aguantarme (no siempre en ese orden) en las que ya son

dos, y espero sean más, aventuras por el Nuevo Mundo. Mi querido Miguel Ángel, lo poco que sé de esta maravillosa tierra te lo debo a ti y también a Ana, sin la que muchas veces sería imposible localizarte y sacarte de Granada. Por todo eso y más, muchas gracias a los dos.

A mi compañero de fatigas, José Javier Carreño, con quien hace 10 años me embarqué en este mundo de la Arqueología y aún hoy sigue remando a mi lado. También a Justo, Luna, Eva, Luis, Alvarillo, Pacoco, Juanito, Rafa, y esa maravillosa habilidad que tienen para alegrarte los días especialmente grises. Sabed que os aprecio muchísimo.

A Marta Colmenero, Elisabeth Porras, Daniel Vivar, David Rodríguez, Emilio Cano, María Ramírez, Victoria García y Daniel Pérez, mis chicas y chicos de la fotogrametría. Como profesor no podría imaginarme unos alumnos mejores que vosotros, pero como amigo sabed que os llevaré siempre en el corazón.

A mis amigos de la infancia, que a pesar de haber tomado caminos tan distintos y distantes siempre han estado ahí. Miguel Ángel, Jesús, Fran, Manuel, Ismael, Alba, Adrián, Vicente, Gómez, Crespo, Juanma, José, Alberto después de mi larga ausencia y como el buen turrón, prometo volver por Navidad.

Por la importancia que el deporte tiene en mi vida, he de agradecer también a mi fisioterapeuta Manuel y el maravilloso trabajo que ha estado haciendo con mi rodilla, a pesar de las circunstancias: "*Mens sana in corpore sano*". Espero poder acompañarte en alguna travesía, algún día.

Y como no, a todas y todos los alumnos que he tenido el privilegio de formar en mayor o menor medida. Gracias de todo corazón, yo os enseñé lo importantes que eran los *opus*, vosotros lo maravillosa que puede llegar a ser la docencia. Creedme cuando os digo que he disfrutado y aprendido con cada clase, viaje y práctica que hemos realizado. Incluso corrigiendo vuestros exámenes.

A todas, a todos, no puedo sino pedirlos perdón por sufrirme en los que han sido, sin duda alguna, uno de los momentos más difíciles de mi vida. Y a pesar de ello, mi mayor orgullo al acabar de escribir esta tesis es haberos conocido.

2 CAPITULO II: INTRODUCCIÓN

2.1 Presentación del apartado

El presente apartado trata de esbozar el marco teórico en el cual se inserta nuestra tesis. En primer lugar, analizando un concepto tan sumamente subjetivo como es el del Patrimonio, su concepción, importancia y evolución a lo largo de la historia. Igualmente abordaremos el estado de la cuestión que existe, hasta la fecha, en torno a las denominadas como Humanidades Digitales y cuáles son los nuevos enfoques que de ellas derivan.

2.2 La gestión integral del patrimonio histórico-arqueológico de mediano y pequeño tamaño. Problemáticas y posibilidades

A través de esta suerte de subapartado historiográfico, trataremos de ahondar en un concepto tan subjetivo como es el de patrimonio. En nuestro caso concreto, nos centraremos en el patrimonio que, por sus dimensiones y movilidad, podría definirse como de pequeño y mediano tamaño. Veremos como este se relaciona con otras realidades igualmente importantes como son la propiedad o la necesidad y analizaremos algunas de las principales problemáticas que derivan de él. Del mismo modo, intentaremos sintetizar cuales son algunos de los principales organismos encargados del mismo y la legislación que, a partir de ellos, se ha generado.

2.2.1 ¿Qué es el patrimonio?

“El patrimonio es la historicidad evidenciada” (Hernández Cardona, 2003, p. 456)

La bibliografía en torno al uso, desuso, gestión y definición del patrimonio es tan amplia que cualquier aporte de aire fresco o novedad conceptual sería una tarea titánica que, afortunadamente, no entra dentro de las directrices principales de esta tesis. Un hecho afortunado, no solo por el grado de abstracción tan enorme que supone enfrentar una

realidad tan sumamente compleja como es el patrimonio, sino porque consideramos infructuoso cualquier intento de esbozarlo.

Una definición implica, por norma general, simplicidad, sintetizar en todo lo posible materialidades imbuidas de un bagaje cultural en constante crecimiento. A este respecto, dada su larga trayectoria, el patrimonio es quizás uno de los términos más complejos que puede afrontar el Ser Humano.

El patrimonio es historia, huellas tangibles e intangibles de un pasado tan antiguo como la propia humanidad, legado de generaciones pasadas a aquellas otras venideras en un mecanismo recurrente y acumulativo. En efecto, querer sintetizar algo así resulta cuanto menos pretencioso. Por ello, escribir sobre patrimonio conlleva aceptar estas limitaciones e, igualmente, abordar sus definiciones como meras aproximaciones, pedazos conexos condicionados por circunstancias temporales, geográficas e individuales muy específicas (García, 2012). Todas correctas, pero ninguna completa. Como bien expresaría Hernández Cardona (2003: 455): “El concepto “patrimonio” es polisémico y experimenta un continuo proceso de deconstrucción y construcción”.

En época romana, el término *patrimonium*, del que deriva nuestro término actual, hacía referencia a una propiedad privada heredada, en este caso, a nivel familiar. De hecho, tres de las acepciones que la Real Academia Española, atribuye a “patrimonio”, asumen directamente al sentido de la propiedad como *conditio sine que non* de la propia palabra:

1. *m. Hacienda que alguien ha heredado de sus ascendientes.*
2. *m. Conjunto de los bienes y derechos propios adquiridos por cualquier título.*
3. *m. patrimonialidad.*
4. *m. Der. Conjunto de bienes pertenecientes a una persona natural o jurídica, o afectos a un fin, susceptibles de estimación económica.*

Con el paso del tiempo, hemos ido ampliando el público objetivo a un nivel prácticamente mundial. La idea de propiedad sigue existiendo de la misma forma que lo

hacia hace 2000 años y es nuestro concepto del beneficiario el que se ha visto realmente modificado. Debido a la creciente globalización que nos envuelve, ahora toda la humanidad se ve beneficiada por esa rica herencia. La idea persiste, pero varía la conceptualización.

Como añade Juan Monterroso (2001: 35), las sociedades antiguas no entendían el patrimonio tal y como lo hacemos nosotros hoy. Esto es algo obvio, del mismo modo que tampoco percibían la propiedad del mismo modo. No obstante, para Monterroso, la relación entre nuestro sentido de patrimonio y la historia es tan fuerte que sin esta última, un pueblo sería incapaz de conceptualizar el primero. Aquí diferimos con el autor, ya que entendemos que no existe sociedad sin historia y que la conciencia de que existe un pasado es algo connatural al propio Ser Humano.

Según García Cuetos (2012: 21) y Choay (2007: 100), el sentido actual de patrimonio nace como un retoño más de la modernidad ilustrada del siglo XVIII, un movimiento intelectual además, exclusivamente europeo. Sin embargo, cuando en 1462 el Papa Pío II promulga la bula *Cum alman nostram urbem* y hacía hincapié en la importancia de proteger los monumentos como vestigios de la Antigüedad que eran¹, su idea de patrimonio ya no difería tanto de la que hoy nosotros podemos tener. Los propietarios de esa herencia ya no solo sería un reducido grupo familiar, sino “*las generaciones venideras*”, pero qué o a quiénes quería englobar el papa Pío II con ese término. En este sentido, a pesar de errar en la forma y los motivos de abordar su protección, su definición de patrimonio no era ni más, ni menos correcta, sino quizás, poco ambiciosa.

En el siglo XVIII, ahora sí en plena Ilustración, emergen conceptos como el de cultura, descrita como “*el conjunto de modelos o patrones, explícitos o implícitos, mediante los*

¹ En esta bula Pío II definía los monumentos como “vestigios de la Antigüedad y testimonios irremplazables del pasado y que debían conservarse por dos razones: para que las generaciones venideras pudiesen disfrutar de la grandeza y dignidad de la ciudad (idea de herencia común) y para que los monumentos transmitiesen a la ciudadanía los valores morales de quienes los construyeron y recordasen la fragilidad de las empresas humanas (criterios morales)” (García, 2012: 20).

cuales una sociedad regula el comportamiento de las personas que la integran. Y eso abarcaría costumbres, prácticas, códigos, normas y reglas de la manera de ser, vestimenta, religión, rituales, normas de comportamiento y sistemas de creencias” (García, 2012: 15). Coincidiendo con ello, estalla la revolución francesa, uno de los primeros episodios históricos cuya influencia trasciende fuera de un marco puramente nacional. A partir de este importante suceso europeo, derechos como la propiedad adquieren una dimensión y un significado mucho más universal y accesible. Imbuidos por esta nueva idea de pertenencia, patrimonio y cultura se convertirán en una realidad cada vez más indisoluble.

Con la llegada del siglo XIX y la proliferación del nacionalismo romántico, la idea de propiedad y con ella la de patrimonio, quedará contenida dentro del marco geográfico del propio estado. Si bien es cierto, que durante esta época se produce una importante evolución de las políticas y de las figuras de protección patrimonial, habremos de esperar un siglo para ver esbozada la idea de un patrimonio de todos. Efectivamente, en Europa, la época del romanticismo decimonónico se va a convertir en un siglo lleno de contradicciones. A la par que se intenta afianzar la protección del patrimonio nacional, la historia ajena es profundamente denostada en una carrera colonialista cuyas secuelas aún subyacen. Así, por ejemplo, esta también será la centuria de los grandes expolios, donde naciones como Inglaterra o EE.UU., entre otras, llenarán sus anticuarios de valiosas antigüedades a costa de la riqueza patrimonial de continentes como África o América del Sur.

Como se ha dicho, será en el siglo XX, tras el desastre a nivel patrimonial que supuso la Primera, pero sobre todo la Segunda Guerra Mundial, cuando se experimentará un verdadero cambio en torno a la concepción del patrimonio. La creación de la Sociedad de Naciones, el 24 de abril de 1919, durante la Conferencia de París, supondrá un conveniente punto de inflexión a este respecto. Auspiciado por toda una serie de reuniones, documentos (Carta de Atenas (1931), Conferencia de la Haya (1954), Carta de Venecia (1964), etc.) y organizaciones de carácter internacional (UNESCO), el patrimonio dejará de ser posesión de estados y países concretos, para convertirse en

una propiedad universal, usufructo de todos los seres humanos. Tal y como se explicita en la Carta de Venecia (ICOMOS, 1964: 1)

“Las obras monumentales de los pueblos, portadoras de un mensaje espiritual del pasado, representan en la vida actual el testimonio vivo de sus tradiciones seculares. La humanidad, que cada día toma conciencia de los valores humanos, las considera patrimonio común reconociéndose responsable de su salvaguardia frente a las generaciones futuras.”

2.2.2 El patrimonio de pequeño y mediano tamaño: concepto y definición

La diversidad del patrimonio lo convierte en una realidad difícilmente abarcable a través de una única tesis doctoral. Por ello, y dado que este será el hilo conductor del presente trabajo, una vez abordado el término de patrimonio se hace necesario detallar qué se puede entender como patrimonio de pequeño y mediano tamaño. Las categorías, en este caso, han sido trazadas a partir de la propia experiencia del autor durante todo el trabajo desarrollado para la presente tesis. La permeabilidad y volubilidad de la definición es amplia y, por tanto, da cabida a futuras modificaciones o precisiones.

Por un lado, el pequeño tamaño englobaría a todas aquellas piezas u objetos patrimoniales muebles cuyas dimensiones nunca superan el metro cúbico y cuyo peso, disposición y tamaño las hace perfectamente manipulables, desplazable y/o giratorias, incluso por una sola persona.

Por otro lado, el mediano tamaño ha de entenderse como todos aquellos elementos, generalmente no muebles, cuya disposición o dimensiones impiden su correcta manipulación, pero cuya digitalización integral es perfectamente viable a pie y sin dispositivos adicionales de captura: pértigas o UVAs. En este último grupo se encontrarían todas aquellas estatuas de gran tamaño, frisos o relieves situados en paredes, elementos decorativos fijados a composición monumentales mayores, etc. En

esta categoría se incluirán además todos aquellos objetos que, a pesar de que por sus dimensiones no habrían de incluirse en dichas especificaciones, no pueden ser manipulados por diversos motivos (acceso restringido, peligro de deterioro, etc.).

2.2.3 Protección y conservación del patrimonio. Una necesidad real

“Se ha creído, tradicionalmente, que las necesidades humanas tienden a ser infinitas; que están constantemente cambiando; que varían de una cultura a otra, y que son diferentes en cada período histórico. Nos parece que tales suposiciones son incorrectas, puesto que son producto de un error conceptual.” (Max-Neef et al., 2008: 40)

A pesar de nuestra aparente racionalidad, el Ser humano no deja de ser un animal que se mueve por la constante necesidad de autosatisfacerse. En este sentido, las necesidades humanas deben ser entendidas como algo finito y clasificable y no como un elemento ilimitado y potencialmente variable. En esta línea de pensamiento, nos encontramos al economista chileno Manfred Max-Neef (Max-Neef et al., 2008). Este autor, traza una clasificación de las necesidades que él considera fundamentales, dividiéndolas en categorías existenciales y axiológicas que interactúan entre ellas (fig.2.1).

De todas ellas, nos interesa ahondar en dos en particular, las necesidades de protección y la de identidad. Por separado, ambas pueden verse satisfechas por infinidad de mecanismos. Sin embargo, si supeditamos la necesidad de protección a la de identidad, el abanico de posibilidades es bastante más restringido. Proteger nuestra identidad, precisa de “satisfactores” mucho más específicos, y es aquí donde el patrimonio juega un papel de especial relevancia.

El gregarismo que nos identifica como especie, requiere de fuertes pilares sobre los que asentarse. En este aspecto, el patrimonio, tanto tangible como intangible, se convierte en una herramienta perfecta con la que consolidar una idea de identidad que se

mantenga a lo largo del tiempo. A mayor o menor escala, la identidad requiere de la pervivencia de lazos empáticos que soporten cualquier desarrollo cultural.

Cuadro Matriz de necesidades y satisfactores de Max Neef <i>et al.</i>				
Necesidades según categorías axiológicas	Necesidades según categorías existenciales			
	1. Ser	2. Tener	3. Hacer	4. Estar
1. Subsistencia	Salud física, salud mental, equilibrio, solidaridad, humor, adaptabilidad	Alimentación, abrigo, trabajo	Alimentar, procrear, descansar, trabajar	Entorno vital, entorno social
2. Protección	Cuidado, adaptabilidad, autonomía, equilibrio, solidaridad.	Sistemas de seguros, ahorro, seguridad social, sistemas de salud, legislaciones, derechos, familia, trabajo	Cooperar, prevenir, planificar, cuidar, curar, defender	Contorno vital, contorno social, morada
3. Afecto	Autoestima, solidaridad, respeto, tolerancia, generosidad, receptividad, pasión, voluntad, sensualidad, humor	Amistades, parejas, familia, animales domésticos, plantas, jardines	Hacer el amor, acariciar, expresar emociones, compartir, cuidar, cultivar, apreciar	Privacidad, intimidad, hogar, espacios de encuentro.
4. Entendimiento	Conciencia crítica, receptividad, curiosidad, asombro, disciplina, intuición, racionalidad.	Literatura, maestros, método, políticas educativas, políticas comunicacionales	Investigar, estudiar, experimentar, educar, analizar, meditar, interpretar.	Ámbitos de interacción formativa, escuelas, universidades, academias, agrupaciones, comunidades, familia
5. Participación	Adaptabilidad, receptividad, solidaridad, disposición, convicción, entrega, respeto, pasión, humor	Derechos, responsabilidades, obligaciones, trabajo	Afiliarse, cooperar, proponer, compartir, discrepar, acatar, dialogar, acordar, opinar.	Ámbitos de interacción participativa, partidos, asociaciones, iglesias, comunidades, vecindarios, familias
6. Ocio	Curiosidad, receptividad, imaginación, despreocupación, humor, tranquilidad, sensualidad	Juegos, espectáculos, fiestas, calma	Divagar, abstraerse, soñar, añorar, fantasear, evocar, relajarse, divertirse, jugar.	Privacidad, intimidad, espacios de encuentro, tiempo libre, ambientes, paisajes.
7. Creación	Pasión, voluntad, intuición, imaginación, audacia, racionalidad, autonomía, inventiva, curiosidad.	Habilidades, destrezas, método, trabajo	Trabajar, inventar, construir, idear, componer, diseñar, interpretar	Ámbitos de producción y retroalimentación, talleres, ateneos, agrupaciones, audiencias, espacios, de expresión, libertad temporal
8. Identidad	Pertenencia, coherencia, diferenciación, autoestima, asertividad.	Símbolos, lenguajes, hábitos, costumbres, grupos de referencia, sexualidad, valores, normas, roles, memoria histórica, trabajo	Comprometerse, integrarse, confrontarse, definirse, conocerse, reconocerse, actualizarse, crecer	Socio-ritmos, entornos de la cotidianeidad, ámbitos de pertenencia, etapas madurativas
9. Libertad	Autonomía, autoestima, voluntad, pasión, asertividad, apertura, determinación, audacia, rebeldía, tolerancia.	Igualdad de derechos	Discrepar, optar, diferenciarse, arriesgar, conocerse, asumirse, desobedecer, meditar	Plasticidad espacio-temporal.

Fuente: Max Neef *et al.*, *Desarrollo a escala humana*, p.42.

Figura 2.1. Cuadro Matriz de necesidades y satisfactores de Max Neef et al. (2008: 40).

La búsqueda, por tanto, de un sentimiento de propiedad supranacional, de pertenencia a un colectivo que trascienda las fronteras del estado, pasa por la necesidad real de conservar y proteger un acervo patrimonial en constante crecimiento. Y es especialmente por este motivo, que la protección del patrimonio como generador de

identidad, debe ser entendida no sólo como una vaga responsabilidad, sino como una de nuestras prioridades y necesidades más esenciales.

Tristemente, será esta misma necesidad de identidad la que legitime esos mismos sentimientos de animadversión y destrucción hacia el patrimonio (Matthiae, 2015: 55; Settis, 2007: 120). Una forma errónea y desesperada de heterogeneidad que presupone la destrucción del pasado (material e inmaterial) como forma de independencia identitaria y/o cultural. Efectivamente, episodios que con tanta frecuencia han sido documentados en la Antigüedad, como es el caso de la *damnatio memoriae*, no entrañan necesidades diferentes, sino satisfactores distintos. Una forma tan terrible como real de proteger la identidad, motivada por una idea errónea y circunscrita de propiedad. Destruir para proteger.

En sus respectivas obras, tanto María Pilar García Cueto (2012), como José Antonio Benavides (2017), hacen referencia al Papa Martín V (1417-1431) como uno de los primeros personajes históricos en preocuparse por la salvaguarda del patrimonio. Años más tarde, Pío II promulgará la ya mencionada bula *Cum almam nostram urbem*, escrito donde ya de forma explícita aboga por la protección de estos “*testimonios irremplazables del pasado*”. Puede que sea a partir del siglo XV cuando se haga referencia por primera vez a la custodia del patrimonio. Sin embargo, debemos entender este satisfactor como algo casi tan antiguo como la propia necesidad de identidad y, sobre todo, no circunscribirlo a un ámbito geográfico concreto.

Sea como fuere, desde antes de Martín V y hasta prácticamente nuestros días, las luces y sombras tan habituales a la conducta humana, conllevarán la alternancia irregular de episodios de destrucción patrimonial más o menos intensos. Diseminados entre ellos, encontraremos también momentos donde se intente incentivar la protección del mismo.

En Europa, el siglo XVIII parece suponer un punto de inflexión a este respecto. Así, en la Francia de 1789, comienza a desarrollarse un creciente interés por la conservación del patrimonio estatal. Surge entonces, lo que parecer ser una de las primeras políticas de

conservación patrimonial a nivel europeo (Choay, 2007: 26; García, 2012: 21; Sire, 1996: 74). Otro ejemplo de esta nueva sensibilización, es el texto titulado *Antiquités nationales ou Recueil de Monumens*, publicado en 1790 por Aubin-Louis Millin de Granmaison (1759-1818). En esta suerte de inventario o catastro patrimonial aparece por primera vez el término de monumento histórico, entendido no solo como edificios, sino también como objetos, estatuas o tumbas. Elementos, en general, que estuviesen ligados a la historia nacional y al pasado común de Francia (García, 2012: 22).

El siglo XIX transcurrirá sin pena ni gloria para la protección de un patrimonio que quedará circunscrito por un fuerte hermetismo nacional. Habremos de esperar, por tanto, a la centuria siguiente para ver como la necesidad humana de proteger la identidad genera figuras y organismos de tutela del patrimonio capaces de superar las fronteras nacionales.

En efecto, el siglo XX es el siglo de la internacionalización del patrimonio, de su conservación y de su gestión. Como bien sintetiza García Cuetos (2012: 31), a lo largo de esta etapa histórica:

- 1. Se valora el patrimonio desde su contenido no desde la apariencia.*
- 2. Los conjuntos urbanos y los centros históricos se convierten en objeto de atención y por lo tanto interesa su protección y salvaguarda.*
- 3. Se concede importancia al ambiente, entendido como resultado de los elementos que forman parte del conjunto.*
- 4. En los años setenta se produce una internacionalización de la preocupación patrimonial.*
- 5. La década de los ochenta amplía el concepto de patrimonio, incluyendo los jardines históricos, los Sitios y finalmente, con la Carta de Toledo 1986, se fija la idea de la protección de la trama urbana.*

En definitiva, el patrimonio se convierte en una necesidad que no debe satisfacerse desde un punto de vista regional. En 1949, Fernand Braudel, en su obra *El Mediterráneo y el mundo mediterráneo en la época de Felipe II* reconstruía la historia del Mediterráneo en base a tres regímenes temporales diferentes. Por un lado, la “Larga Duración”, una realidad temporal que se correspondería con estructuras de gran estabilidad a lo largo del tiempo histórico (Braudel, 1987: 17). Ejemplos de ello serían los marcos geográficos, las realidades biológicas o incluso fenómenos de tipo ideológico. “La Coyuntura” por su parte, designaría un nivel del tiempo histórico intermedio, entre la larga duración y los acontecimientos puntuales (Braudel, 1987: 787). Los procesos de cambio económico o las crisis y revoluciones serían algunos ejemplos de coyuntura. Por último, nos encontramos con el “Acontecimiento”, la corta duración, “el efímero polvo de la Historia que cruza su escenario, brilla un momento, para inmediatamente, volver a la oscuridad y tal vez al olvido” (Braudel, 1987: 335).

De forma similar, nosotros debemos entender la protección del patrimonio, como una estructura global, que se divide en coyunturas intermedias que, a su vez, dependen del acontecimiento presente. Una realidad que debe partir de cada persona con el objetivo de alcanzar una escala mucho más globalizada.

2.2.3.1 Hacia una tutela y protección del patrimonio a nivel mundial

Ya hemos visto, como tras la devastación patrimonial desencadenada por la Segunda Guerra Mundial, la humanidad se vuelve especialmente consciente de la necesidad de proteger y conservar el pasado material.

Carta de Atenas para la Restauración de Monumentos Históricos (1931)

Años antes de la llegada de la Segunda Guerra Mundial, ya nos encontramos con algunos precedentes en cuanto a la conservación del patrimonio se refiere. Es el caso de la Conferencia internacional celebrada en octubre de 1931 en Atenas y promovida por el Consejo Internacional de Museos². Reunión de la que derivaría un año más tarde la

² Institución de cooperación intelectual dependiente de la Sociedad de Naciones (1919)

elaboración de unas actas, bajo el título concreto de “La conservación de los monumentos de arte y de historia”.

En efecto, como se indica en las actas, dado que la protección de los monumentos *“revela tal complejidad, exige tal diversidad de competencias que será difícil encontrar en un país todos los expertos y técnicos capaces de resolver la multiplicidad de los casos que presentan. Por otra parte están aquellos países donde la profusión de riquezas artísticas y arqueológicas es tal que, a menudo, las Administraciones nacionales no están en disposición de hacer frente a todas las competencias que le han sido confiadas”*(AA.VV., 1931: 183), se hacía indispensable la formación de comités internacionales de expertos que se reuniesen y debatiesen las mejores soluciones. La Carta de Atenas surge como la materialización de un proyecto de cooperación supranacional en torno al patrimonio. Una iniciativa interesante, pero algo insulsa en contenido, que quedará silenciada por el gran conflicto bélico que se avecinaba.

Convención de la Haya (1954)

El verdadero punto de inflexión llegará años más tarde. La creación de la UNESCO³, el 16 de noviembre de 1945 abrió un novedoso marco de actuación, ratificado con la posterior celebración de la Conferencia de la Haya (La Haya, Países Bajos, 1954), también conocida como *“Convención para la protección de los bienes culturales en caso de conflicto armado”*. En efecto, estos dos acontecimientos marcaron un antes y un después en la custodia de un patrimonio que ya se empezaba a considerarse universal, propiedad y derecho de todos los seres humanos.

El acuerdo alcanzado durante la Conferencia de la Haya, se convertirá en el primer tratado de alcance mundial dedicado exclusivamente a la protección del patrimonio. En él, 115 Estados Parte reconocían: *“que los bienes culturales han sufrido graves daños en el curso de los últimos conflictos armados y que, como consecuencia del desarrollo de la técnica de la guerra, están cada vez más amenazados de destrucción;*

³ Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

[...] que los daños ocasionados a los bienes culturales pertenecientes a cualquier pueblo constituyen un menoscabo al patrimonio cultural de toda la humanidad, puesto que cada pueblo aporta su contribución a la cultura material;

“[...] que la conservación del patrimonio cultural presenta una gran importancia para todos los pueblos del mundo y que conviene que ese patrimonio tenga una protección internacional” (UNESCO, 1954: 8)

De esta forma, y para evitar desastres patrimoniales como el vivido durante la Segunda Guerra Mundial, estos países se comprometían a adoptar una serie de medidas (UNESCO, 1954: 8-26; Benavides, 2017: 17) en los artículos 1 al 7 del capítulo 1. Entre otras:

- *Reducir las consecuencias que los conflictos armados ocasionan sobre el patrimonio cultural y adoptar medidas preventivas para dicha protección tanto en tiempo de guerra, como en tiempo de paz.*
- *Respetar los bienes culturales situados en sus respectivos territorios así como en el territorio de los otros Estados Parte.*
- *Instituir mecanismos para la protección de estos bienes.*
- *Registrar un número restringido de bienes culturales de gran importancia (muebles e inmuebles) y someterlos a una protección especial.*
- *Crear un cuerpo especial dentro de las fuerzas armadas que se encargase de proteger estos bienes culturales.*
- *Establecer sanciones por violar los acuerdos de la Convención*

A su vez, esta convención fue adoptada de forma conjunta con un Protocolo adicional destinado a prevenir la exportación de bienes culturales de un territorio ocupado y favorecer, asimismo, la repatriación de aquellos que ya habían sido expoliados.

Dentro de las bases fundacionales de la UNESCO, se estipulaba además cierta obligatoriedad por la organización periódica de sesiones plenarias ordinarias y, por otro lado, la posibilidad de debatir determinados temas en otras sesiones de carácter extraordinario. Junto con ello, en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, asistimos a una etapa “Restauración” (López Morales, 2016), especialmente intensa durante la década de los ´60, que tratará de configurar un nuevo *corpus* de actuación en torno a la protección y gestión del patrimonio. Durante este período se celebrarán numerosas reuniones nacionales e internacionales, dirigidas a mejorar la defensa del patrimonio y promovidas, no solo por la UNESCO, sino también por entidades independientes.

Carta de Venecia (1964)

De este modo, tras la Convención de la Haya, el siguiente gran paso en la carrera por apuntalar la conservación y protección patrimonial, será la celebración del II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos (Venecia, 25-31 de mayo 1964).

Fruto de este congreso es la redacción de la denominada como Carta de Venecia (1965) o Carta Internacional para la Conservación y Restauración de Monumentos (López, 2016; ICOMOS, 1964) y cuya redacción se basará en cuatro ejes principales: la definición de monumento y sus valores, el movimiento y la sociedad de hoy en día, el monumento y su entorno y la doctrina de la conservación.

Artículo 5: *“[...] la conservación de monumentos siempre resulta favorecida por su dedicación a una función útil a la sociedad; tal dedicación es por supuesto deseable pero no puede alterar la ordenación o decoración de los edificios. Dentro de estos límites es donde se debe concebir y autorizar los acondicionamientos exigidos por la evolución de los usos y costumbres”.*

La publicación de la Carta de Venecia supone, entre otras cuestiones, la creación de un marco de actuación común en materia patrimonial. En otras palabras, se crearán unos principios básicos a la hora de actuar sobre el patrimonio.

Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural (1972)

Siete años después de la publicación de esta carta, desde el 17 de octubre al 21 de noviembre de 1972, la UNESCO organizará en París su 17ª reunión ordinaria, denominada Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. De ella derivarán las siguientes medidas encaminadas a una protección y conservación del patrimonio eficaces (UNESCO, 1973: 62-65):

Artículo 3.4

- 1. Adoptar una política general encaminada a atribuir al patrimonio cultural y natural una función en la vida colectiva y a integrar la protección de ese patrimonio en los programas de planificación general.*
- 2. Instituir en su territorio, si no existen, uno o varios servicios de protección, conservación y revalorización del patrimonio cultural y natural, dotados de un personal adecuado que disponga de medios que le permitan llevar a cabo las tareas que le incumban.*
- 3. Desarrollar los estudios y la investigación científica y técnica y perfeccionar los métodos de intervención que permitan a un Estado hacer frente a los peligros que amenacen a su patrimonio cultural y natural.*
- 4. Adoptar las medidas jurídicas, científicas, técnicas, administrativas y financieras adecuadas, para identificar, proteger, conservar, revalorizar y rehabilitar ese patrimonio.*
- 5. Facilitar la creación o el desenvolvimiento de centros nacionales o regionales de formación en materia de protección, conservación y revalorización del patrimonio cultural y natural y estimular la investigación científica en este campo.*

Del mismo modo, de esta convención de París, surgiría el Comité del Patrimonio Mundial. Una nueva entidad propuesta en los artículos 8 al 14, que estaría compuesta

por 15 Estados Partes en la Convención⁴, elegidos por los Estados Partes en ella. Este comité, al que se dotaba además de un importante fondo económico, será el encargado de proponer algunos de los criterios de gestión e intervención patrimonial que actualmente siguen vigentes.

En líneas generales, estos fueron los principales hitos que terminarán configurando la base sobre la que se sustente nuestro actual *corpus* de actuación en cuanto a materia de patrimonio. Los encuentros posteriores supondrán modificaciones poco sustanciales, destinadas principalmente a ampliar las fronteras de patrimonio hacia una realidad cada vez más amplia y subjetiva.

Las convenciones internacionales y los documentos que acabamos de analizar, terminaron configurando el armazón sobre el que se sustentaría el futuro de la conservación patrimonial. Del mismo modo, siguiendo esta nueva y creciente dinámica, se organizaron otros eventos de relevancia que conviene mencionar. A pesar de tener un carácter mucho más específico, a lo largo del siglo XX y XXI se sucederán muchas otras aportaciones de carácter nacional y supranacional e internacional (AA.VV., 2007). Documentos que ayudarán a complementar un *corpus* legislativo patrimonial tan novedoso como incompleto y contribuirán, igualmente, a hacer de la protección patrimonial integral una realidad mucho más alcanzable y social.

Carta del restauro, Roma (1932)

Con la creación de este documento, el gobierno italiano trató de unificar la metodología de conservación y restauración del patrimonio que llevaban a cabo, por aquel entonces, las superintendencias de Italia. Sin embargo, su aplicación práctica no abordaba la inmensa variabilidad del patrimonio, sino que se circunscribía a los monumentos arquitectónicos (Martínez, 1996: 74).

Carta del restauro, Venecia (1972)

⁴ Ampliado posteriormente a más 40 Estados.

Esta segunda carta del restauro, redactada por Cesare Brandi, fue un intento de reelaboración de las normas sobre restauración aportadas en la Carta del Restauro de 1932. Una de sus principales aportaciones fue la ampliación de la acepción de obra de arte potencialmente restaurable, no solo a monumentos arquitectónicos, sino a la pintura, escultura y, en general, cualquier elemento hallado en el registro arqueológico (Brandi, 1972: 1), plasmado en el artículo 1, según el cual:

“Todas las obras de arte de todas las épocas, en la acepción más amplia, que va desde los monumentos arquitectónicos a los de pintura y escultura, aunque sean fragmentos, y desde el hallazgo paleolítico a las expresiones figurativas de las culturas populares y del arte contemporáneo, pertenecientes a cualquier persona o ente, con la finalidad de su salvaguardia y restauración, son objeto de las presentes instrucciones que toman el nombre de Carta del Restauro 1972”.

Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico y Declaración de Ámsterdam (1975)

En el marco supranacional de una Comunidad Europea (actualmente Unión Europea) aún precoz, atendemos a la creación de la Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico y de la Declaración de Ámsterdam. Ambos documentos escritos en 1975, estaban profundamente imbuidos de una política europea común que primaba la conservación integral del patrimonio. Como se indica en el prefacio de la Declaración de Ámsterdam (AA.VV., 1975: 1-11):

“El patrimonio arquitectónico europeo, [...] es herencia común de todos los pueblos y, por tanto, su conservación recaba la solidaridad efectiva de los Estados Europeos”

De ambos escritos se extraen las siguientes consideraciones y recomendaciones:

1. La conservación del patrimonio debe primar durante la planificación, reordenación y acondicionamiento del territorio.
2. Los poderes locales deben tener amplias competencias en materia de conservación del patrimonio.

3. Se debe hacer partícipe a la propia sociedad de la conservación de su patrimonio. Deben ver no solo el valor cultural de éste, sino también su valor de uso.
4. Reforzar los medios administrativos y legislativos destinados a proteger el patrimonio arquitectónico, de forma que estos puedan adaptarse correctamente a las sucesivas ampliaciones en materia de protección patrimonial.
5. Desarrollar políticas favorables a la conservación integral del patrimonio arquitectónico, otorgando para ellos los medios financieros necesarios.
6. Promoción en la formación de profesionales con técnicas y metodologías actualizadas para la conservación y restauración del patrimonio.

Convenio para la Salvaguarda del Patrimonio Arquitectónico de Europa. Convención de Granada (1985)

Durante el desarrollo de esta reunión, se apuntaron algunas medidas necesarias para la protección del patrimonio arquitectónico: beneficios fiscales, cooperación entre estados, adaptación de metodologías comunes, utilidad social del patrimonio, etc.

En el Artículo 4, se establecían además toda una serie de procedimientos legales que garantizaran la protección del patrimonio arquitectónico (AA.VV., 1985):

a) someter a una autoridad competente los proyectos de demolición o de modificación de monumentos ya protegidos o que sean susceptibles de un procedimiento de protección, además de todo proyecto que afecte a su ambiente circundante.

b) someter a una autoridad competente los proyectos que contemplen, en su totalidad o en parte, un conjunto arquitectónico o un sitio y que comporte trabajos: de demolición de edificios; de construcción de nuevos edificios; de modificaciones importantes que afecten al carácter del conjunto arquitectónico o del sitio;

c) la posibilidad de que los poderes públicos impidan al propietario de un bien protegido efectuar trabajos o sustituirlo en caso de incumplimiento por su parte.

d) la posibilidad de expropiar un bien protegido.

Carta Internacional para la Conservación de las Ciudades Históricas. Toledo (1986)

Este documento, se convertirá en un complemento o enmienda de la anteriormente citada Carta de Venecia (1964). Se explicitan la metodología y los instrumentos necesarios para una conservación efectiva de las ciudades históricas, tanto de pequeño como de gran tamaño.

Carta del restauro, Siena. Carta de la Conservación y Restauración de los Objetos de Arte y Cultura (1987)

La carrera por establecer un *corpus* fuerte y unitario en torno a la restauración del patrimonio, lleva a la creación de una nueva carta del restauro. En este caso, fue el Ministerio de Bienes Culturales y Ambientales de Italia el encargado de coordinar la iniciativa y el texto final fue elaborado por un amplio número de expertos de diferentes nacionalidades (Marconi et al., 1987). Su principal objetivo era el de renovar y ampliar el texto escrito por Cesare Brandi en 1972 (Brandi, 1972).

Carta Internacional para la Conservación de las Poblaciones y Áreas Urbanas Históricas. Washington (1987)

Redactada por el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios Histórico-Artísticos (ICOMOS, 1987), este escrito recoge las ideas aportadas en la Carta de Toledo de 1986 y añade algunos leves apuntes adicionales.

De nuevo, se aboga por la participación de la sociedad en la gestión de su propio patrimonio ("*El plan debe contar con la adhesión de los habitantes*") como un método efectivo para la conservación de este. Para ello se hará especial hincapié en la necesidad de una educación precoz al respecto:

“Para asegurar la participación activa e implicar a sus habitantes, se debe realizar un programa de información desde la edad escolar. Deberán facilitarse las acciones de las asociaciones para la conservación y adoptarse las medidas financieras apropiadas para asegurar la conservación y restauración” (ICOMOS, 1987: 3)

Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico (1990)

El texto fue preparado por el Comité Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico (ICAHM) y aprobado en la Asamblea General del ICOMOS celebrada en Lausana (Suiza) en 1990.

“Es un hecho ampliamente aceptado que el conocimiento y la comprensión de los orígenes y del desarrollo de las sociedades humanas revisten una importancia fundamental para toda la humanidad, ya que sirven para identificar sus raíces culturales y sociales. El patrimonio arqueológico constituye el testimonio esencial de las actividades humanas del pasado. Su protección y su adecuada gestión son imprescindibles para permitir a los arqueólogos y a otros científicos estudiarlo e interpretarlo en nombre de generaciones presentes y futuras, y para beneficio de las mismas.” (ICOMOS, 1990: 1)

Con el objetivo de garantizar la pervivencia del patrimonio extraído en intervenciones arqueológicas, se hace hincapié en la necesidad de cooperación entre especialistas de diferentes disciplinas e, igualmente, entre estos investigadores, la propia Administración, las empresas privadas y la propia sociedad. Para ello, la asamblea establece una serie de preceptos o medidas que han de tomarse (ICOMOS, 1990). En primer lugar, la necesidad de generar planes de utilización del suelo agrícola ordenados y controlados que mitiguen la destrucción de este patrimonio. Junto a ello, también es de suma importancia incorporar estas políticas de planificación no solo a nivel internacional, sino también a nivel nacional, regional y especialmente local. Del mismo modo, se sigue insistiendo en la necesidad de hacer partícipe a la población de la gestión de su propio patrimonio.

“La protección del patrimonio arqueológico debe constituir una obligación moral para cada ser humano. Pero también es una responsabilidad pública colectiva”. Artículo 3. (ICOMOS, 1990: 2)

Carta del Patrimonio Vernáculo Construido (1999)

“El Patrimonio Tradicional o Vernáculo construido es la expresión fundamental de la identidad de una comunidad, de sus relaciones con el territorio y al mismo tiempo, la expresión de la diversidad cultural del mundo” (ICOMOS, 1999: 2)

Esta carta es importante, porque en ella se hace referencia, por primera vez, a los riesgos que supone la globalización y tecnificación del mundo moderno para el patrimonio.

“Debido a esa homogeneización de la cultura y a la globalización socio-económica, las estructuras vernáculas son, en todo el mundo, extremadamente vulnerables y se enfrentan a serios problemas de obsolescencia, equilibrio interno e integración.” (ICOMOS, 1999: 1)

Igualmente, como una propuesta para mitigar dichos efectos, se establecerán una serie de medidas y recomendaciones (Benavides, 2017: 27):

- 1. La conservación del Patrimonio Vernáculo construido debe ser llevada a cabo por grupos multidisciplinarios de expertos, que reconozcan la inevitabilidad de los cambios, así como la necesidad del respeto a la identidad cultural establecida de una comunidad.*
- 2. Las intervenciones contemporáneas en edificios, conjuntos y asentamientos vernáculos deben respetar sus valores culturales y su carácter tradicional.*
- 3. Lo tradicional se encuentra sólo en ocasiones representado por estructuras singulares. Es mejor apreciado y conservado por el mantenimiento y preservación de los conjuntos y asentamientos de carácter representativo en cada una de las áreas.*

4. *El Patrimonio Vernáculo construido forma parte integral del paisaje cultural y esta relación ha de ser, como tal, tenida en consideración en el transcurso de los programas de conservación y desarrollo.*
5. *El Patrimonio Vernáculo no sólo obedece a los elementos materiales, edificios, estructuras y espacios, sino también al modo en que es usado e interpretado por la comunidad, así como a las tradiciones y expresiones intangibles asociadas al mismo.*

Segundo Protocolo de la Haya (1999)

Ante la necesidad de actualizar los términos acordados en la Convención de la Haya de 1954, casi medio siglo después, el 26 de marzo de 1999, se efectuará una revisión de los acuerdos ratificados entonces, con un segundo y actualizado protocolo para regular la protección del patrimonio y sus bienes culturales en caso de guerra (UNESCO, 1999). En el artículo 3. de este nuevo documento, amplía los acuerdos alcanzados en lo relativo a las relaciones entre las países o estados implicados en el conflicto armado (UNESCO, 1999: 3):

“Si una de las partes en un conflicto armado no está obligada por el presente Protocolo, las Partes en el presente Protocolo seguirán obligadas por él en sus relaciones recíprocas. Asimismo, estarán obligadas por el presente Protocolo en sus relaciones con un Estado parte en el conflicto que no esté obligado por él, cuando ese Estado acepte sus disposiciones y durante todo el tiempo que las aplique.”

Carta de Cracovia. Principios para la Conservación y Restauración del Patrimonio Construido (2000)

Enmarcada en el proceso de constante remodelación en el que se ve inmersa la ya denominada Unión Europea, este nuevo documento tiene como objetivo actualizar los principios de restauración acordados en la Carta de Venecia (1964), adaptándolos a la evolución del escenario social y de los valores específicos depositados en el patrimonio. Como bien se indica el preámbulo (UNESCO & ICOMOS, 2000: 205):

“Este patrimonio no puede ser definido de un modo unívoco y estable. Sólo se puede indicar la dirección en la cual puede ser identificado. La pluralidad social implica una gran diversidad en los conceptos de patrimonio concebidos por la comunidad entera; al mismo tiempo los instrumentos y métodos desarrollados para la preservación correcta deben ser adecuados a la situación cambiante actual, que es sujeto de un proceso de evolución continua.”

Este nuevo documento se centra además, en describir diferentes tipos de intervenciones de conservación, más que en los instrumentos operativos que están involucrados en ellas (Cristinelli, 2004: 54).

Reunión de Vantaa. Hacia una Estrategia Europea sobre Conservación Preventiva (2000)

Este documento redactado dentro del marco de las Estrategias de Conservación de la Unión Europea, constituye un importante paso en la conservación y protección del patrimonio, ya que entiende que la forma más sostenible para protegerlo es, precisamente, mediante la prevención. En la parte 1 se puede leer:

“El patrimonio cultural es muy frágil. Los componentes físicos y tangibles de este patrimonio se ven amenazados por los demolidores estragos de las guerras y las catástrofes naturales o por los efectos, más silenciosos, de la contaminación, los insectos, las condiciones meteorológicas o los actos aislados de vandalismo. La conservación preventiva reduce estos riesgos y aminora el ritmo de deterioro de colecciones enteras y, por ello, es pieza fundamental de toda estrategia de conservación y un medio eficaz y económico de preservar la integridad del patrimonio cultural, reduciendo la necesidad de una intervención adicional sobre los objetos por separado.”
(U.E., 2000: 2)

Declaración de Budapest sobre la Universalidad y sobre el Patrimonio Mundial (2002)

Es estos dos textos de la UNESCO se reconoce de forma específica, que el patrimonio es una propiedad universal de todos los seres humanos y, como tal, este ha de ser protegido por la Humanidad al completo (UNESCO, 2002a y 2002b).

“Nosotros, los miembros del Comité del Patrimonio Mundial, reconocemos la universalidad de la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural de 1972 y la consiguiente necesidad de velar por que se aplique al patrimonio en toda su diversidad, como instrumento para el desarrollo sostenible de todas las sociedades, mediante el diálogo y el entendimiento mutuo.” (UNESCO, 2002a, p. 1)

Carta sobre la Preservación del Patrimonio Digital (2003)

La integración cada vez más masiva de las nuevas herramientas informáticas destinadas o aplicadas a la digitalización y conservación del patrimonio, generan una creciente proliferación de este tipo de formatos. Un nuevo tipo de recurso que pasará a configurar, no obstante, una forma más patrimonio, no exenta el deterioro. Como se indica en el artículo 1.:

“El patrimonio digital consiste en recursos únicos que son fruto del saber o la expresión de los seres humanos. Comprende recursos de carácter cultural, educativo, científico o administrativo e información técnica, jurídica, médica y de otras clases, que se generan directamente en formato digital o se convierten a éste a partir de material analógico ya existente. Los productos “de origen digital” no existen en otro formato que el electrónico.

Los objetos digitales pueden ser textos, bases de datos, imágenes fijas o en movimiento, grabaciones sonoras, material gráfico, programas informáticos o páginas Web, entre otros muchos formatos posibles dentro de un vasto repertorio de diversidad creciente. A menudo son efímeros, y su conservación requiere un trabajo específico en este sentido en los procesos de producción, mantenimiento y gestión.

Muchos de esos recursos revisten valor e importancia duraderos, y constituyen por ello un patrimonio digno de protección y conservación en beneficio de las generaciones

actuales y futuras. Este legado en constante aumento puede existir en cualquier lengua, cualquier lugar del mundo y cualquier campo de la expresión o el saber humanos.”

En efecto, estos nuevos elementos digitales también se ven afectados por el paso del tiempo, y pueden llegar a perderse. Esto se debe, principalmente, a la rápida obsolescencia inherente en ellos, fruto de la acelerada y constante evolución a la que se ven sometidas este tipo de metodologías.

Ante esto, se hacía cada vez más necesaria la creación de unos principios rectores de actuación. Durante la 32ª reunión de la Conferencia General de la UNESCO, celebrada en París, entre el 29 de septiembre y 17 de octubre de 2003, se abordará esta problemática.

De esta reunión derivará la redacción de la Carta de la Preservación del Patrimonio Digital, como uno más de los apartados de las más 200 páginas de las Actas (UNESCO, 2003: 79). De ella, derivarán una serie de líneas de actuación enfocadas a paliar la pérdida de este tipo de formatos digitales y que fueron recogidas en los artículos 6 al 9:

1. Elaborar estrategias y políticas que permitan preservar este tipo de patrimonio.
2. La necesidad de seleccionar los elementos digitales que verdaderamente deben conservarse. En este punto, queda patente que no se establece un *corpus* de actuación que homogenice y universalice los principios que regirán esta selección. Tal y como se indica en el documento, estos podrán variar dependiendo de cada país, aunque habrán de primarse factores como su significado y valor duraderos en términos culturales. A día de hoy, este sigue siendo uno de los principales problemas a los que se enfrenta la gestión del patrimonio digital.
3. Obviamente, dada la importancia del patrimonio digital, se hace necesario protegerlo y preservarlo. Para ello se usarán los mecanismos de tipo jurídico e institucional que sean necesarios. Como ocurre en los demás documentos que hemos estado viendo hasta ahora, durante la redacción de estas

recomendaciones se hará especial ahínco en que todo este patrimonio tenga una utilidad social. Es decir, que revierta en beneficio de la propia sociedad.

“Hay que preservar y poner a disposición de cualquier persona el patrimonio digital de todas las regiones, naciones y comunidades a fin de propiciar, con el tiempo, una representación de todos los pueblos, naciones, culturas e idiomas.”
(UNESCO, 2003. 81)

Carta de Londres para la Visualización Computarizada del Patrimonio Cultural (2009)

“La Carta de Londres se propone establecer una serie de principios para el uso de los métodos y de los resultados de la visualización computarizada en el campo de la investigación y divulgación del patrimonio cultural” (AA.VV., 2009: 3)

La primera versión de la Carta de Londres fue inicialmente concebida tras la organización del Simposio *Making 3D Visual Research Outcomes Transparent* (23-24 febrero de 2006). Finalizado el simposio, un amplio grupo de especialistas en el ámbito de la Arqueología Virtual, procedentes de diversas Universidades, redactaron una carta en la que se detallaban algunos principios que rigieran el empleo de estas nuevas herramientas informáticas. Años más tarde, en 2009, en un intento de actualización de la misma, se redacta una nueva versión de la misma. Con algunas pequeñas revisiones posteriores, esta versión 2.1. de la Carta de Londres es, hasta el momento, el documento de carácter internacional que más ha profundizado en la regulación de las nuevas tecnologías y su aplicación al patrimonio.

Los principios y recomendaciones aportados por la Carta de Londres (versión 2.1.) son un intento por aumentar el margen de aplicación de estas nuevas herramientas informáticas, sobre todo cara a su implantación en el campo del patrimonio arqueológico (López-Menchero, 2011: 68). Este será, sin duda alguna, el documento con mayor peso en la justificación y el propio desarrollo de la presente tesis doctoral. Es por este motivo, que dedicaremos un análisis mucho más minucioso a sus principios.

1. Principio de interdisciplinariedad

A pesar de ser una realidad cada vez más asentada en la disciplina arqueológica en general, la Carta de Londres insiste en la necesidad de configurar equipos de trabajo e investigación multidisciplinares. Grupos de trabajo que intercambien ideas y que puedan abordar así, de forma mucho más rigurosa, trabajos ligados al patrimonio digital.

2. Principio de finalidad

Es primordial generar resultados que estén adaptados a finalidades específicas. Cada hipótesis de trabajo debe ajustarse lo máximo posible a la realidad. No es lo mismo producir material digital que sirva de apoyo a un arqueólogo para interpretar la realidad arqueológica, que elaborar modelos de visualización destinados a fines divulgativos. En efecto, la rigurosidad histórica deberá ser una constante, pero los resultados deberán de ser más comprensibles y atractivos en el caso de estar destinados a un público no especializado.

3. Principio de complementariedad

Estas nuevas herramientas y procedimientos informáticas se conciben como elementos complementarios y nunca sustitutivos de aquellos instrumentos de gestión patrimonial más tradicionales. La visualización computarizada resulta útil para optimizar intervenciones de conservación y protección del patrimonio, pero aún no está lo suficientemente asentada como para sustituir las metodologías clásicas.

4. Principio de autenticidad

Los expertos en Arqueología Virtual, debe ser conscientes de que su disciplina no es una ciencia exacta e indiscutible, sino profundamente relativa. Una visualización computarizada, no es una representación exacta del pasado de un elemento patrimonial, sino una reconstrucción hipotética de este.

5. Principio de rigurosidad histórica

Relacionado con el principio anterior, se deriva el hecho de que cualquier producto de la visualización computarizada que trate de reconstruir virtualmente el pasado, debe

sustentarse en una sólida documentación arqueológica. Solo de esta forma, conseguimos no perjudicar la credibilidad del sitio o el objeto arqueológico reconstruido. Para ello, es de capital importancia además recrear todas las fases que se han registrado durante la intervención arqueológica, humanizar las reconstrucción y reintegrar de forma precisa no sólo el yacimiento sino el paisaje que lo envuelve (UNESCO & ICOMOS, 2000).

6. Principio de eficiencia

Cualquier proyecto que utilice este tipo de medios de visualización, debe ser consciente de que, en ocasiones, estos implican un mantenimiento económico y tecnológico que deberá ser previsto en aras de evitar su obsolescencia (León, 2006: 102; Caine *et al.*, 2007; Rosenthal, 2010: 200; Williamson, 2015: 510). De esta forma, la incorporación de este tipo e mecanismo digitales debe ser siempre sostenible.

7. Principio de transparencia científica

Se hace imprescindible que los trabajos de esta índole aporten una información rigurosa y totalmente transparente sobre la metodología empleada, de forma que los resultados puedan ser comprendidos en su totalidad. Esto es lo que se denomina como “paradatos”⁵. De esta forma, parafraseando al divulgador científico y escritor Arthur C. Clarke, debemos evitar que una tecnología lo suficientemente avanzada sea indistinguible de la magia.

Los Principios de Sevilla. Principios Internacionales de la Arqueología Virtual (2011)

El último de los documentos que mencionaremos es, al igual que ocurría con la Carta de Londres, fruto del empeño por intentar definir y homogeneizar el marco metodológico

⁵ “La Carta [de Londres] define los paradatos como la información de los procesos humanos de comprensión e interpretación de la información de los objetos. Los paradatos incluyen las descripciones acumuladas en el interior de un archivo estructurado sobre que tipo de pruebas o evidencias se usaron para interpretar un artefacto, o los comentarios sobre las premisas metodológicas en el interior de una publicación científica. Es muy similar, pero diferente en cuanto al énfasis, de los “metadatos contextuales” que tienden a comunicar interpretaciones de un artefacto o colección, en lugar del proceso a través del cual uno o más artefactos son procesados o interpretados” (AA.VV., 2009)

de la Arqueología Virtual. Los Principios de Sevilla, surgen en el seno de la Sociedad Española de la Arqueología Virtual (SEAV) y del Forum Internacional de Arqueología Virtual (FIAV) pero con una presunción de internacionalidad clara.

El marco teórico que emplean como referencia los Principios de Sevilla (SEAV & FIAV, 2011) fue, como se especifica en el mismo escrito, la Carta de Londres de 2009. Por este motivo, asumiré los objetivos y principios aprobados en esta. De esta forma, a los siete principios postulados en la versión 2.1 del documento de 2009, añadiré el de “formación y evaluación”. En definitiva, mediante los Principios de Sevilla se pretende mejorar las condiciones de aplicabilidad de la propia Carta de Londres.

Junto con ello, en este documento se aportan y completan las definiciones precisas de algunos términos ligados al campo de la Arqueología Virtual (SEAV & FIAV, 2011: 3).

- Arqueología Virtual: *“es la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico”.*
- Patrimonio arqueológico: *“es el conjunto de elementos materiales, tanto muebles como inmuebles, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie o en el subsuelo, en la tierra o en el agua, que junto con su contexto, que será considerado también como formante del patrimonio arqueológico, sirven como fuente histórica para el conocimiento del pasado de la humanidad. Estos elementos, que fueron o han sido abandonados por las culturas que los fabricaron, tienen como sello distintivo el poder ser estudiados, recuperados o localizados usando la metodología arqueológica como método principal de investigación, cuyas técnicas principales son la excavación y la prospección, sin menoscabo de la posibilidad de usar otros métodos complementarios para su conocimiento”.*
- Gestión integral: *“comprende las labores de inventario, prospección, excavación, documentación, investigación, mantenimiento, conservación, preservación,*

restitución, interpretación, presentación, acceso y uso público de los restos materiales del pasado”.

- Restauración virtual: *“comprende la reordenación, a partir de un modelo virtual, de los restos materiales existentes con objeto de recuperar visualmente lo que existió en algún momento anterior al presente. La restauración virtual comprende por tanto la anastilosis virtual”.*
- Anastilosis virtual: *“recomposición de las partes existentes pero desmembradas en un modelo virtual”.*
- Reconstrucción virtual: *“comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado a partir de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica”.*
- Recreación virtual: *“comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, del pasado en un momento determinado de un sitio arqueológico, incluyendo cultura material (patrimonio mueble e inmueble), entorno, paisaje, usos, y en general significación cultural”.*

Somos conscientes, que en el esfuerzo por crear un marco legislativo que permitiese proteger y universalizar el patrimonio en todas sus vertientes, existieron otras muchas aportaciones que no hemos podido analizar en las líneas precedentes. Sin embargo, mencionarlos en su totalidad, y aún más describirlos, sobrepasa con creces el propósito de este capítulo introductorio. Igualmente, querría aclarar que la redacción de este apartado intenta aportar una visión evolutiva de parte de las bases teóricas sobre las que se apoyarán los siguientes capítulos y, en definitiva, el corazón mismo de la tesis.

2.3 Estado actual de la cuestión. Humanidades Digitales, Arqueología Virtual, Nuevas tecnologías y Patrimonio Histórico-Arqueológico

“Lejos de poder definirse como una disciplina homogénea, las Humanidades Digitales funcionan como un concepto-paraguas que da cobijo a distintas metodologías y objetos de estudio” (Rojas, 2013: 94)

Si al hablar de patrimonio, su naturaleza y su conceptualización, aceptábamos movernos en un terreno incierto, lleno de limitaciones, pero también de muchas posibilidades, intentar integrar este concepto en una dinámica como son las Humanidades Digitales (*Digital Humanities*), no conlleva asentar unas bases estables. Lejos de ello, la aproximación a un ámbito académico como este presupone, no solo el empleo de herramientas informáticas que permitan trasladar materiales del medio impreso al medio digital, sino aceptar la “humanización” de dicha tecnología (Rodríguez, 2013: 38) y, con ello, un alto grado de subjetividad. Si bien es cierto que afinar una definición ecuánime que encuadre los límites de este nuevo enfoque no está exento de dificultad, si que existe cierta concordia entre los autores sobre lo que no son. El campo de actuación de un humanista digital debe abordar actividades más ambiciosas que el uso del ordenador para enviar correos electrónicos o la publicación contenido en internet (Rojas, 2013; Romero, 2014).

Pero, ¿Por qué sumar dos términos que, a priori, pueden parecernos tan distintos y distantes?

Una diligente consulta a un buscador de recursos online como Google, nos lleva a enmarcar rápidamente las Humanidades como perfecta antagonista de la Ciencia Exacta. Como disciplinas de naturaleza fortuita y casual, hablar de Arqueología, Historia, Filosofía o Lingüística, parece generar, en cierto sentido, presunción de ambigüedad. Esto puede deberse, entre otras muchas cosas, a la heterogénea amplitud de fuentes de información que estas emplean para generar conocimiento (Galina, 2011: 4), dando por hecho que abarcar tal vastedad influye negativamente en su aprehensión.

La discordia entre ambos mundos se convierte en una realidad inevitable a mediados del milenio pasado. En efecto, a pesar de que las bases del Humanismo beben en gran medida del *trivium* y *quadrivium* de la Edad Media (Burdick *et al.*, 2012: 5), no será hasta el Renacimiento cuando se comience a consolidar esa creciente idea de independencia entre Ciencias y Letras. En el siglo XVII, las Humanidades ya conformaban una realidad bastante clara, pero no será hasta el siglo XIX cuando estas se consoliden como disciplinas autónomas (Rojas, 2013: 6). Desde este momento, el humanista perfecto se ha constituido como un lobo solitario que, valiéndose de “lecturas, inspiración y ingenio” (Romero, 2014: 33), produce una densa y subjetiva fuente de conocimientos.

La llegada de los primeros ordenadores digitales supuso, no obstante, un acercamiento de las disciplinas humanísticas a las ciencias naturales y físicas. Y es aquí, donde debemos emplazar el nacimiento de las Humanidades Digitales o, como se denominarían por aquel entonces “*Humanities Computing*” (Humanidades Computarizadas). La generalización de este nuevo enfoque metodológico, supondrá la posibilidad de soslayar parte de ambigüedad tradicionalmente atribuida a nuestro ámbito de estudio.

Poco después de acabar el segundo gran conflicto bélico del siglo XX, el Padre Roberto Busa, un jesuita de origen italiano, conocedor de la existencia de los ordenadores, planteó la posibilidad de emplear este tipo de máquinas digitales semi-automatizadas, para facilitar la elaboración de un *index verborum* que aunase todos los términos latinos de las obras de Santo Tomás de Aquino y de otros autores similares (Galina-Russell, 2012; Galina, 2011; Hockey, 2004; Romero Frías, 2014). De esta forma, en 1949 se desplazó a los Estados Unidos y consiguió la ayuda de Thomas J. Watson, fundador de IBM. Fruto de esta colaboración fue una indexación que incluía más de 10 millones de palabras en latín, las cuales fueron gradualmente integradas en un programa de concordancias que funcionaba a partir de tarjetas perforadas.

Este *Index Thomisticus*, ha sido considerado como el primer proyecto en el que se aplicaron, de forma satisfactoria, herramientas de tipo informático y digital con el objetivo de mejorar el desarrollo de tareas propiamente humanísticas. Por otro lado, el

Padre Busa es reconocido como el fundador de las Humanidades Digitales y su obra un auténtico referente del humanista digital.

Las décadas de los '60 y '70, propiciaron el desarrollo de otros programas de concordancias⁶ como el Oxford Text Archive (OTA) (Hockey, 2004) y *hardware* específicos como los dispositivos *David Packard's Ibycus computer* o *Content Addressing File Store* (CAFS). Hecho este que pone de manifiesto la importancia del análisis de textos y la implementación de sus *softwares* dedicados, que terminará convirtiéndose en una de las líneas directrices de las *Computing Humanities*. Junto a ello, se produce una consolidación a nivel académico de esta nueva dinámica a través de la fundación de centros de investigación especializados (*Centre for Computing in the Humanities*, *UCL Centre for Digital Humanities*, *Digital.humanities @ Oxford*, *UCLA Center for Digital Humanities*), la creación de revistas especializadas (*Computer and the Humanities*), o la organización de cursos de formación o reuniones científicas recurrentes.

Tras esta etapa de consolidación, la frenética mejora de los dispositivos informáticos terminó originando la aparición de los primeros ordenadores personales (PC en sus siglas en inglés) como el IBM PC y su sistema operativo DOS 1.0. La democratización e inusitada expansión de estas microcomputadoras a mediados de los años '80, ponía al alcance de un amplio grupo de personas una potente herramienta cuyo uso previo implicaba el desplazamiento a determinadas instituciones, centros de investigación o Universidades. La generalización de estos ordenadores en el ámbito puramente doméstico, sumado al nacimiento del correo electrónico, permitió a los humanistas digitales trabajar de forma mucho más ágil y productiva. A finales de esta misma década, tiene lugar en el Vassar College de Poughkeepsie (1987) una reunión organizada por *The Association for Computers and The Humanities*. En este encuentro, se discutió la necesidad de crear unas pautas estandarizadas de codificación de texto. Fruto de todo ello fue la creación y del *Standard Generalized Markup Language* (SGML), que comenzó

⁶ Softwares informáticos que permiten analizar un gran volumen de textos en diferentes idiomas, extrayendo términos similares, semejanzas de estilo y otro tipo de patrones mostrando, además, sus ubicaciones. Muy utilizado en estudios lingüísticos

a generalizarse como el formato de texto electrónico por antonomasia (Terras, Nyhan, y Vanhoutte, 2013: 100).

La concurrencia de todos estos eventos que se fueron sucediendo a lo largo de la década de los '80, terminó imprimiendo un nuevo cariz a las Humanidades Computarizadas y preparándolas para el cambio que se avecinaba, la Era del Internet (Hockey, 2004). En efecto, a partir de los años '90 y amparadas por el desarrollo de internet, las Humanidades Computarizadas comienzan a experimentar con nuevos campos de aplicación. Es entonces, cuando las imágenes digitales, el audio o los videos se convierten en potenciales objetos de estudio.

Coincidiendo con ello, a principios de los '90, Paul Reilly (1991) publica su revolucionario ensayo *Toward a Virtual Archaeology* en el que hace referencia a una nueva forma de hacer Arqueología. Apenas cinco años más tarde, se publica *Arqueología, paseos virtuales por las civilizaciones desaparecidas* (Forte & Leclant, 1996), una obra coordinada por Mauricio Forte y Jean Leclant que terminó asentando los cimientos de lo que ya empezaba a denominarse como Arqueología Virtual. Con todo, en aquella coyuntura formativa, la obsesión de las Humanidades Computarizadas por las posibilidades del análisis de texto y por desarrollo de un instrumental específico para ello (Rojas, 2013: 80), supuso un eclipse temporal del potencial de otras muchas metodologías. De este modo, disciplinas como la Arqueología Virtual habrán de esperar aún algunos años más para ocupar un lugar de pleno derecho en el seno de esta nueva forma de entender el humanismo.

En cualquier caso, la llegada del nuevo milenio implicó, entre otras muchas cosas, un cambio de rumbo para las Humanidades Computarizadas que, tras la publicación del libro *A Companion to Digital Humanities* (Schreibman, Siemens, y Unsworth, 2004) adquirieron su denominación actual. El paso de Humanidades Computarizadas a Humanidades Digitales, no se restringió a un simple cambio de nombre, las Humanidades Digitales habían nacido como una versión 2.0 que pasaba a englobar un marco mucho más amplio de perspectivas, objetos de estudio y análisis (Svensson, 2009:

9). Se convertían, asimismo, en una realidad mucho más conectada, interactiva y colaborativa (Presner, Schnapp, y Lunenfeld, 2009; Romero, 2014: 82)

La implicación de cara a la Arqueología, y más concretamente a la Arqueología Virtual o Ciber arqueología (Forte, 2011) fue más que evidente, pues supuso revalidar su valor en un marco teórico que antaño había limitado su influencia e importancia. Arqueología Virtual es sinónimo de Humanidades Digitales.

En su aportación al libro *A Companion to Digital Humanities* anteriormente citado, Susan Hockey (2004: 3-15), establecía cuatro etapas evolutivas en el desarrollo de las Humanidades Digitales: una Época Fundacional (1949-´70), una Época de Consolidación (´70-´80), una Época de Nuevos Desarrollos (´80-´90) y la que ella denomina como Era de Internet que abarcaría hasta la actualidad. Dado que no compartimos su estructuración cronológica, a lo largo de la redacción de este apartado nos hemos limitado a mencionar los principales acontecimientos sin englobarlos, necesariamente, en un marco cronológico concreto. Entendemos la necesidad de circunscribir etapas historiográficas, pero del mismo modo, creemos que la autora se centra, casi únicamente, en aquellos eventos relacionados con la gestión de programas de concordancias o el lenguaje de texto. A este respecto, se hace necesaria una distribución temporal más acorde y que represente mejor la evolución específica de disciplinas como la Arqueología Virtual.

Por ello, podríamos añadir una quinta etapa adicional que abarcaría la última decena de años y a la que denominaremos como Época de la Democratización. En efecto, entendiendo aquí democratización como la necesidad de afrontar mecanismos capaces de reducir las desigualdades en el acceso y la generación de conocimiento (Arocena, 2014: 90), esta reciente etapa supone la reafirmación del principio básico sobre el que se sustentan las Humanidades Digitales, la búsqueda de una cada vez mayor apertura.

No cabe duda, de que este concepto, entendido en sus múltiples dimensiones, aunaría la práctica totalidad de los principios establecidos por el *Manifiesto de las Humanidades Digitales 2.0* (Presner et al., 2009) sintetizándolos en una única y clara realidad,

Apertura. La cultura de lo abierto implica, más allá de la superficialidad del término, una clara idea de interdisciplinariedad, un replanteamiento de las normas de propiedad intelectual, un nuevo *status* del profesorado con respecto al alumnado, un compromiso social irrevocable, el uso o la creación de fuentes de datos que estén abiertas (*open sources*) y cuyo acceso sea totalmente libre para toda la sociedad (ética hacker), así como la colaboración entre organismos, instituciones y entre los propios humanistas digitales.

Un rápido vistazo a la producción intelectual, revistas y repositorios online generados en los últimos diez años, permite corroborar esta dinámica cada vez más real. Esteban Romero Frías (2014: 21), en referencia al libro de Joseph Turow y Lockman Tsui, *The Hyperlinked Society: Questioning Connections in the Digital Age* (Turow y Tsui, 2008), asegura que “Lo digital ha generado una sociedad hiperenlazada”. Esta afirmación tiene, obviamente, muchas connotaciones negativas, pero propicia también la aparición de una nueva forma de entender la investigación como una realidad mucho más asequible socialmente.

2.3.1 La generalización de las herramientas informáticas en Arqueología

Enfocado hacia la gestión integral del patrimonio arqueológico, encontramos otro de los eventos que habrá de marcar esta nueva etapa de democratización en la que se verán inmersas las Humanidades Digitales. Nos referimos a la generalización del uso de la fotogrametría *Structure from Motion*, una técnica tan versátil que su aplicación es perfectamente viable en disciplinas de diversas ramas y con enfoques realmente distintos. En ese sentido, y aunque esto se analizará más específicamente en capítulos venideros, el punto de inflexión podemos ubicarlo en el desarrollo por David Lowe del algoritmo *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) (Lowe, 1999: 1152-1155). El desarrollo de este algoritmo supuso una importante simplificación en el uso de esta técnica de digitalización. Como es natural, tras su publicación definitiva en 2004 (Lowe,

2004: 92-108), una vez corregido y adaptado, el uso de fotogrametría se disparó. Ya no era necesario poseer conocimientos técnicos muy específicos para poder generar modelos tridimensionales precisos mediante fotografías, pues la inclusión de este algoritmo implicaba una considerable automatización del proceso.

Con motivo de ello, algunas disciplinas humanísticas como la Arqueología, han hecho de la fotogrametría una herramienta de uso prácticamente imprescindible en sus *corpora* metodológicos. Junto a esta técnica de digitalización, la incorporación de otras herramientas informáticas como el láser scanner, los Sistemas de Información Geográfica o la *Reflectance Transformation Imaging*, han contribuido a crear un novedoso y extenso campo de posibilidades. Gracias a ello, disciplinas como la Arqueología Virtual que habían quedado en un segundo plano dentro de las Humanidades Digitales, inician ahora un fuerte y rápido acercamiento hacia este cajón de sastre.

En el caso concreto de la Arqueología Virtual, antaño eclipsada por la monotonía metodológica en la que se encontraban inmersas las Computing Humanities, los últimos diez años han sido testigos de su creciente influencia en esta concepción más digital de las Letras.

Como una forma de reafirmarse ante un mundo profundamente científicista, las Humanidades Digitales buscan convertirse en una alternativa rigurosa que aplique métodos y técnicas procedentes de las ciencias naturales y físicas a "un dominio híbrido que cruza fronteras disciplinarias y también barreras tradicionales entre la teoría y la práctica, la implementación tecnológica y la reflexión académica" (Flanders *et al.*, 2007: en línea).

Las Humanidades digitales conforman un marco de trabajo necesario, pero, a la vez incompleto y lleno profundos socavones en sus bases metodológicas. Fruto de esta situación, se nos plantean innumerables preguntas, algunas sin respuesta, pero que debemos intentar resolver. Sirva de ejemplo, la frecuente cuestión sobre el hecho de

qué supone para un investigador trabajar en Humanidades Digitales. Un interrogante que podemos trasladar, de forma más específica, al ámbito de la Arqueología Virtual.

Con motivo de esta sencilla pregunta se inicia un debate que ha ido escurriéndose, sin trascendencia real, a lo largo del tiempo y hasta nuestros días. Una discusión que invita a pensar sobre cuál debe ser la formación específica de un humanista digital, haciendo especial hincapié en la necesidad de que estos conozcan, o no, el lenguaje de programación. A este respecto, las opiniones son diversas e implican eternizar una decisión cada vez más inevitable. La alfabetización digital, y más concretamente el desarrollo de habilidades de programación, se convierte en una herramienta esencial que debería implementarse como formación básica de cualquier investigador que desee especializarse en ámbito del humanismo digital. Esta situación es aún más apremiante en el marco de la Arqueología Virtual o Ciber Arqueología, una de las disciplinas más profundamente informatizadas. Como manifiesta Marcos Román González en su tesis doctoral *Codigoalfabetización y pensamiento computacional en Educación Primaria y Secundaria: validación de un instrumento y evaluación de programas* (Román, 2016: 88): *“La lectoescritura de código nos libera de las limitaciones de las opciones predefinidas y configuraciones por defecto de las aplicaciones informáticas que utilizamos cada día”*.

Más allá incluso, en una sociedad donde la tecnología ocupa un lugar tan importante, la “codigoalfabetización” debería ser una realidad presente ya en los niveles educativos básicos (Hasier, 2014: 20 ; Llorens *et al.*, 2017: 10; Román, 2016: 55). Relacionado con esta premisa, en Estados Unidos surge en 2010 un movimiento denominado *Code-Literacy* el cual asume, entre otras cosas, la necesidad de crear un entorno de programación accesible y motivador que fomente el aprendizaje del que probablemente sea el lenguaje del futuro. De esta forma, como ocurre con otras lenguas como el inglés, empleando los recursos adecuados y adaptados, podemos incluir el lenguaje de programación, de forma precoz, en niños con edades tempranas. Aquí reside, sin duda alguna, una de las líneas de actuación más necesarias para las Humanidades Digitales que, enfocadas en potenciar su desarrollo en los niveles de educación superior, olvidan que la base del humanista digital se construye en las escuelas y no en las Universidades.

“Con la proliferación de Internet, de los dispositivos móviles y otras tecnologías ahora omnipresentes en la educación, la visión tradicional de la alfabetización como la capacidad de leer y escribir se ha expandido para abarcar la comprensión de las herramientas digitales y la información” (Adams et al., 2016: 24)

Es cierto que cada día son más habituales los *software* y dispositivos *user friendly*, poseedores de interfaces tan intuitivas que convierten al usuario en un mero espectador de los resultados. *Softwares* fotogramétricos ampliamente utilizados en Arqueología, como es el caso de *Agisoft Photoscan*, permiten a un usuario sin apenas conocimientos de informática generar modelos tridimensionales siguiendo unas sencillas pautas de parametrización. Sin embargo, entender el funcionamiento interno y la estructura de estos programas, aunque sea a un nivel básico, puede abrirnos un abanico de posibilidades enorme. Un conocimiento básico de codigoalfabetización nos permite, en primer lugar, entender errores recurrentes en nuestro flujo metodológico y anticiparnos a ellos. De igual modo, nos da una visión mucho más amplia de los límites de nuestra investigación y, en base a ello, podemos proponer nuevas aplicaciones que materializar de forma autónoma o con la colaboración de expertos informáticos. En definitiva, tener nociones básicas de lenguaje informático, permite al arqueólogo virtual y, en definitiva, al humanista digital ser plenamente conscientes de su propia trascendencia.

2.3.2 Las nuevas tecnologías informáticas como herramientas potenciales en la gestión y conservación del registro arqueológico

Hasta ahora, hemos ido analizando como el entorno digital ha ido ocupando un espacio cada vez más definido en el marco disciplinar de las Humanidades Digitales. Del mismo modo, su aplicación en la gestión patrimonial es un hecho perfectamente lógico que deriva de esta misma dinámica. Sin embargo, a fin de encauzar el desarrollo de esta tesis hacia un objetivo mucho más específico, debemos centrarnos ahora en el caso concreto de la realidad arqueológica.

La Arqueología ha sido tradicionalmente definida como la ciencia social “*encargada de estudiar las sociedades del pasado, principalmente a través de sus restos materiales, lo que se conoce como la cultura material*” (Renfrew y Bahn, 1991: 10). El estudio implica, sin embargo, no solo la investigación, sino también la gestión, protección y conservación de este patrimonio material.

Paralelamente, esta ciencia humana ha destacado siempre por su connatural capacidad de adoptar y adaptar innovaciones procedentes de otras disciplinas y emplearlas en su propio beneficio. Herramientas pensadas para un fin específico que terminan convirtiéndose, gracias a la naturaleza multidisciplinar de la Arqueología, en instrumentos básicos e imprescindibles de su corpus metodológico. Un claro ejemplo de ello es como a mediados del siglo XIX (González, 2016: 165-180) el empleo de la fotografía en Arqueología, que al principio encontró una fuerte oposición, ha terminado convirtiéndose en la fuente de documentación básica de esta disciplina. Esta afortunada circunstancia posibilita, hablando obviamente a un nivel conceptual muy general, trasladar nuestro conocimiento del pasado a una sociedad en constante evolución.

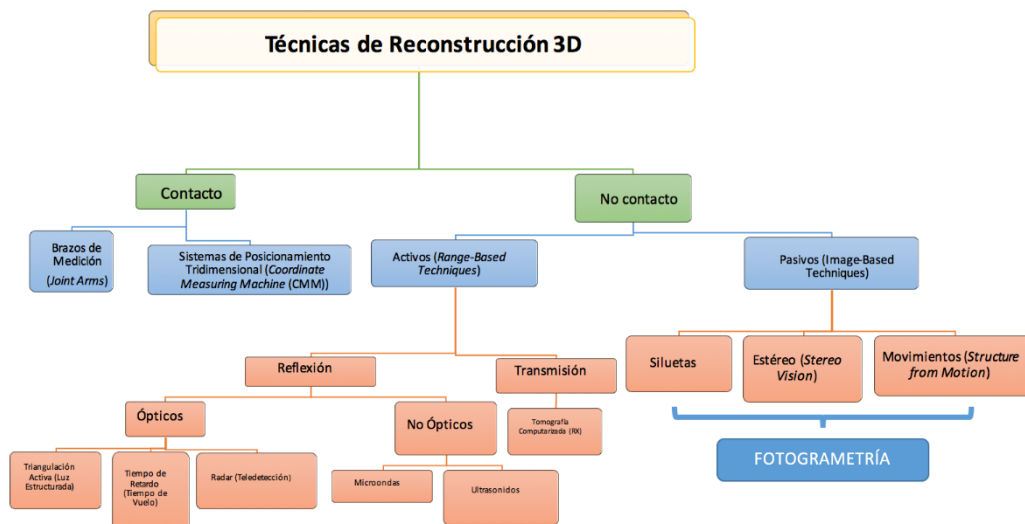


Figura 2.2. Cuadro esquemático donde se señalan algunas de las principales técnicas de digitalización o reconstrucción 3D.

Esta realidad es una constante que se repite con diferentes actrices, pero con el mismo escenario, a lo largo de la historia de esta disciplina. Gracias a ello, podemos entender como las nuevas tecnologías, han asumido un papel tan importante en el ámbito de la Arqueología actual.

De forma casi intuitiva, podríamos pensar que estas herramientas sirven únicamente para simplificar la labor del arqueólogo, convirtiendo poco a poco a éste en un mero supervisor de un complejo proceso de documentación. No obstante, esto sería una respuesta excesivamente simple y absurdamente vaga. Si bien es cierto que facilitan nuestra labor como arqueólogos, este tipo de instrumentación y de técnicas mal implementadas presuponen a veces perjuicios superiores a los posibles beneficios. Unos riesgos que no siempre se tienen en cuenta en la medida necesaria.

Pero, ¿qué entendemos como nuevas tecnologías? La pregunta no es nada sencilla, ya que con este término se hace referencia a las metodologías o técnicas que implican, al menos de forma secundaria, el uso de un dispositivo y programa informático (Benavides, 2017; Gómez y Quirosa, 2009: 7; Tejado, 2005: 140). Una realidad amplísima, pero deberíamos diferenciar del término “Alta Tecnología”, empleado hace algunos años y cuya acepción no implicaría, necesariamente, el uso de recursos informáticos (Ortiz, 1986). Dentro de esta amalgama conceptual, las herramientas de digitalización tridimensional como la fotogrametría, objeto de esta tesis, ocupan solo una pequeña parte. A ellas podemos sumar la conocida como *Reflectance Transformation Imaging* (RTI), el análisis de imagen mediante *imageJ* y el *plugins Dstrecht*, el uso de programas de modelado 3D o las nuevas posibilidades de tridimensionalización y accesibilidad que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica actuales. La fotogrametría basada en el *Structure from Motion*, es solo la punta del iceberg de un amplio abanico de técnicas en constante evolución y relación. Un recordatorio constante de la creciente importancia que el mundo digital tiene en una disciplina como la nuestra. Un ámbito este, el digital, cuyas permeables fronteras propician un fuerte desarrollo de la interacción.

Mientras que hace apenas una década la aplicación de este tipo de técnicas era una realidad extraña en Arqueología, hoy día casi cualquier estudio que busque cierta relevancia académica se ve en la obligación de integrar estos nuevos procedimientos en sus *corpora* metodológicos. En el caso concreto de la fotogrametría *SfM*, esta realidad es aún más obvia.

2.3.3 Beneficios y perjuicios derivados del uso de las NN.TT.

El uso a nivel patrimonial de técnicas no invasivas como ésta aporta innumerables ventajas en la gestión del registro arqueológico pre, peri y post-excavación. De acuerdo a los principios estipulados en la Carta de Londres (AA.VV., 2009: 3-7) y los Principios de Sevilla (López-Menchero, 2011: 66-68; SEAV y FIAV, 2011: 2-8), la digitalización de los bienes patrimoniales aporta a corto, medio y largo plazo importantes beneficios que no debemos pasar por alto:

- En primer lugar, son herramientas que limitan el carácter destructivo inherente en una excavación arqueológica. Con un correcto uso de estas, conseguimos una mayor precisión a la hora de documentar una realidad arqueológica concreta. Así, por ejemplo, podemos reconstruir el proceso de excavación capa a capa y visualizarlo *a posteriori* con un nivel de detalle nunca antes visto.
- En segundo lugar, conseguimos reducir considerablemente la fragmentación de los restos arqueológicos recuperados, tanto muebles como inmuebles. El uso sistemático de estas nuevas herramientas nos permite recrear de forma totalmente digital parte de los distintos elementos recuperados. Todo ello sin poner en peligro la propia integridad de las piezas o estructuras.
- En tercer lugar, la búsqueda de datos cada vez más precisos nos lleva casi obligatoriamente a incorporar este tipo de técnicas informáticas semiautomatizadas cuya objetividad en la toma y representación de los datos supera con creces a la que pueden aportar las herramientas tradicionales de

registro. De hecho, el estudio sobre modelos digitales puede proporcionar datos morfométricos y volumétricos mucho más precisos y de forma mucho menos agresiva que en las técnicas tradicionales.

- En cuarto lugar, combinada con una buena colección de referencia, la digitalización de los ítems arqueológicos nos permite trazar clasificaciones mucho más rigurosas. El nivel de precisión comparativa que proporcionan programas como Cloud Compare o Blender supera ampliamente cualquier otra técnica analógica.
- En quinto lugar, podemos afirmar con total seguridad que la producción de modelos tridimensionales proporciona innumerables ventajas en términos de difusión, divulgación y accesibilidad, sobre todo cuando la comparamos con técnicas tradicionales de representación gráfica. A nivel docente, museográfico y académico la incorporación de modelos digitales totalmente interactivos garantiza una consecuente mejora en la presentación y comprensión de los resultados. Especialmente entre el público menos especializado.
- A todo ello hemos de sumar la consolidación de una nueva forma de entender la Arqueología. Íntimamente ligada a esta nueva tendencia digital nos encontramos con la “Arqueología a Distancia”, como quizás podríamos denominarla. Al superar las obvias restricciones impuestas por la distancia y la bidimensionalidad, podemos analizar objetos y estructuras con un alto grado de precisión y en prácticamente cualquier parte del mundo.
- En sexto lugar, y estrechamente relacionado con el punto anterior, está el tema de la Accesibilidad. Combinando las posibilidades de los modelos tridimensionales con la cada vez mayor democratización de las técnicas de impresión 3D, conseguimos acercar el patrimonio arqueológico a sectores sociales con discapacidad mediante la producción de réplicas tiflológicas de diverso tipo.

Obviamente, no todo son ventajas y la aplicación de estos nuevos procedimientos presupone a veces lidiar con serios escollos. La obsolescencia de los formatos digitales ha sido un tema profundamente debatido en las diversas reuniones internacionales organizadas por la UNESCO y otros organismos similares como ICOMOS, así como en la propia literatura científica (Caine et al., 2007; León, 2006; Rosenthal, 2010; Williamson, 2015). Otro hándicap, que habitualmente acompaña al uso de estas técnicas, es el excesivo coste de algunas de estas técnicas, la fuerte inversión de tiempo que aún hoy precisan muchos de estos trabajos o la inexistencia de un *corpus* de actuación homogéneo.

Junto a todo ello, los arqueólogos y humanistas digitales debemos ser conscientes de otra peligrosa circunstancia que acompaña al empleo de estas nuevas tecnologías, la banalidad del uso por el uso. Quizás hemos llegado a un punto en el que no sabemos discernir si el empleo de estas herramientas es fruto de necesidades reales o si, por el contrario, solo son producto del capricho del investigador. Durante los siglos XX y XXI hemos sido testigos de una fuerte ampliación legislativa del concepto de patrimonio, pero ¿vale todo? Con técnicas como la fotogrametría estamos generando una nueva forma de patrimonio, digital en este caso, pero también valiosa y digna de preservarse como producto social que es (AA.VV., 2016: 10). Sin embargo, el volumen de datos que estas nuevas herramientas son capaces de proveer resulta, a veces, inmanejable. Debemos ser conscientes de la necesidad de abordar el patrimonio de una manera realista. No hablamos de que exista un tipo de patrimonio más o menos digno de conservarse, al igual que no debería existir predisposición por excavar uno u otro contexto arqueológico, pero debemos ser conscientes de nuestras limitaciones y actuar en consonancia. El registro patrimonial puede ser íntegramente digitalizado si somos capaces de garantizar un proceso riguroso de captura de datos e, igualmente, una conservación posterior de este.

3 CAPÍTULO III: PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1 Presentación del apartado

El presente apartado compone la matriz misma de la tesis. Es el desglose metodológico de todos los procedimientos que pueden llevarse a cabo sobre material de pequeño y mediano tamaño obtenido mediante fotogrametría *Structure from Motion*. No obstante, resulta obligatorio esbozar antes qué y cuál es el funcionamiento de la técnica que supone la base del material analizado en el capítulo III. A lo largo de los próximos diez subapartados analizaremos el origen y las principales posibilidades que aporta una herramienta la fotogrametría dentro del patrimonio de pequeño y mediano tamaño. Análisis, difusión y docencia como pilares básicos de una técnica cada vez más habitual en disciplinas humanísticas como la Arqueología.

3.2 La Técnica Fotogramétrica.

“Los primeros rudimentos de la Geometría nos enseñan que un punto queda determinado por dos rectas que en él se corten, y un cuerpo cualquiera por pares de rectas que definan cada uno de sus puntos. Entre los infinitos sistemas de rectas que para determinar un cuerpo pudieran elegirse, son las más adecuadas para la práctica las que forman parte de dos radiaciones de primer orden, esto es, las que se hallan distribuidas en dos grupos, teniendo las de cada uno de éstos un punto común. Vemos pues, que podemos definir un cuerpo siempre que tengamos las rectas que unen cada uno de sus puntos con dos puntos fijos, arbitrariamente elegidos.

La intersección de uno de estos haces de rectas con un plano cualquiera es la «(perspectiva)» del cuerpo, sobre este plano y desde el vértice de aquel haz. Y todos sabemos que una buena cámara fotográfica nos da una perspectiva casi perfecta de los

objetos fotografiados, sobre la superficie sensible de la placa, siendo el centro óptico del objetivo, el centro de proyección correspondiente.

En resumen: que si desde dos puntos cualesquiera obtenemos otras tantas fotografías simultaneas de un mismo cuerpo, y hacemos desaparecer éste, nos será posible deducir de las fotografías la posición que ocupaba cada uno de los puntos del citado cuerpo. Esta es la base de la Fotogrametría.” (Torroja i Miret, 1913: 54).

Desde finales de la década pasada, venimos experimentando un fuerte incremento de aquellos trabajos relacionados, directa o indirectamente, con la aplicación de la fotogrametría *Structure from Motion*. Por un lado, está el paulatino incremento de la presencia de artículos y revistas especializadas: *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *International Journal of Computer Science and Information Security* (IJCSIS), *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* o *Virtual Archaeology Review* de la Universidad Politécnica de Valencia, por indicar solo algunos de los ejemplos más representativos.

A ello debemos sumar la organización cada vez más habitual de reuniones científicas. Es el caso de congresos internacionales como los organizados por *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (ISPRS), *The International Committee for Documentation of Cultural Heritage* (CIPA) o la *Virtual Systems and Multimedia Society* (VSSM). A nivel nacional, también nos encontramos con algunos Congresos de Expresión Gráfica Arquitectónica como el organizado por la Universidad de Granada, uno de los primeros ejemplos de esta nueva tendencia.

Por otro lado, la generalización de cursos online a través de plataformas tanto privadas como públicas es un hecho consumado ya. En España, y desde hace ya algunos años, nos encontramos con empresas como KorèFormación u organismos públicos como es el caso de la Universidad de Burgos (UBUabierta), la Universidad de Alicante o el Centro de Estudios de la Universidad de Murcia (CEPOAT) que ofrecen una interesante formación, de carácter totalmente práctico, en torno a esta útil herramienta de

digitalización. A ello debemos sumar la cada vez mayor inclusión de la fotogrametría en la docencia reglada. Es el caso del Máster en Patrimonio Virtual de la Universidad de Alicante o las asignaturas especializadas que ofrecen muchos grados de Universidades españolas. Es el caso, por ejemplo, del grado de Arqueología de la Universidad de Granada que desde hace varios años oferta la asignatura de Nuevas Tecnologías para la Difusión y Puesta en Valor del Patrimonio Arqueológico, en la que hemos tenido la oportunidad de participar.

Igualmente, la creación de documentos legales específicos como la Carta UNESCO para la preservación del Patrimonio Digital, incluida en las actas de la 32 Conferencia General (UNESCO, 2003), demuestra la implicación y el interés de organismos públicos de carácter global en la regulación y fomento de técnicas como la fotogrametría.

Todo esto, son solo algunos de los ejemplos más significativos que justifican la generalización de esta nueva dinámica. El fuerte incremento en el uso de la fotogrametría es una realidad totalmente comprensible, sobre todo en aquellas disciplinas que, al igual que la Arqueología, buscan la constante simplificación y la rigurosidad de sus trabajos. Es una realidad que la Arqueología y su principal fuente de datos son tridimensionales por naturaleza (Forte y Siliotti, 1997: 8-13; Lanjouw, 2016: 42). Las carencias de las técnicas convencionales, generalmente bidimensionales, a la hora de documentar el contexto arqueológico pueden reducirse empleando modelos tridimensionales.

¿Es la fotogrametría *SfM* una alternativa apropiada a la bidimensionalidad tradicional?

3.2.1 Un recorrido histórico

En las líneas siguientes trataremos de esbozar muy brevemente la evolución histórica de una técnica como la fotogrametría y cuyos orígenes se remontan a hace más de un siglo. Esta breve contextualización nos servirá a modo de introducción del posterior apartado metodológico. No pretendemos, por tanto, detenernos en los detalles de cada

suceso, sino que trataremos de esbozar cuales fueron los hitos más importantes. Gracias a ello, podremos comprobar como lo que nosotros hoy entendemos como fotogrametría, una metodología estrechamente unida a la digitalización tridimensional, dista en cierta medida de la concepción original del término.

En su libro *Photogrammetrie Generale*, Henri Bonneval (1972: 35) definía la fotogrametría como la *“técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”*.

Slama (1980: 50) por su parte, entiende la fotogrametría como el *“arte, ciencia y tecnología de obtener información fidedigna de los objetos físicos y del medio ambiente mediante procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y de modelos de energía radiante electromagnética y otros fenómenos”*. Una definición que terminará concretando la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) al indicar que la fotogrametría es *“el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”*.

A la definición actual de fotogrametría basada en el *Structure from Motion*, habría que añadirle una nueva concepción de tridimensionalidad. Así, y de una forma muy sencilla, esta podría definirse como una técnica que consiste en la creación de objetos tridimensionales a partir de datos puramente bidimensionales, en nuestro caso, fotografías en formato digital. Estos modelos tridimensionales poseen, a su vez, información precisa sobre la forma, las dimensiones y la posición en el espacio del objeto real.

La Fotogrametría Plana (1850-1900)

Aunque la técnica fotogramétrica propiamente dicha se remonta a la segunda mitad del S.XIX, a lo que generalmente se denomina como *“fotogrametría plana”* (Bonneval, 1972), el origen de sus fundamentos se encuentra en los tratados renacentistas sobre

geometría y perspectiva de los siglos XIV y XV. En el *Quattrocento*, Filippo Brunelleschi desarrolla un sistema geométrico proyectivo al que denomina “*Perspectiva Artificialis*”, un intento por imprimir un mayor realismo a los bocetos de sus proyectos arquitectónicos que terminó derivando en una tridimensionalidad fingida (Castillo y Ortiz, 2000: 56 y fig. 3.1).

Este sistema irá evolucionando y perfeccionándose, fruto de la curiosidad científica y creativa de la época. Será León Baptista Alberti en su tratado “*De Pictura*” (1436) quien termine compilando y sistematizando los principios matemáticos de la perspectiva. La teoría de la perspectiva será perfeccionada posteriormente en algunos aspectos, pero esos principios esenciales servirán como base para los trabajos de los pioneros de la fotogrametría, quienes intentarán aplicar estos mismos conocimientos sobre un formato fotográfico.



Figura 3.1. Cuadro titulado “Entrega de las llaves a San Pedro” de Pietro Perugino donde puede apreciarse la perspectiva artificialis. Extraído de: [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Entrega de las llaves a San Pedro \(Perugino\).jpg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Entrega_de_las_llaves_a_San_Pedro_(Perugino).jpg) [última visita: 20/10/2019].

Desde sus inicios, la fotogrametría ha estado profundamente relacionada con el mundo militar y la necesidad de este por generar datos cartográficos cada vez más precisos. Por

ello, el propósito inicial de la fotogrametría fue intentar corregir las distorsiones provocadas al solapar (manualmente) fotos tomadas desde diferentes puntos con el objetivo de cartografiar áreas más o menos extensas de una forma realmente precisa.

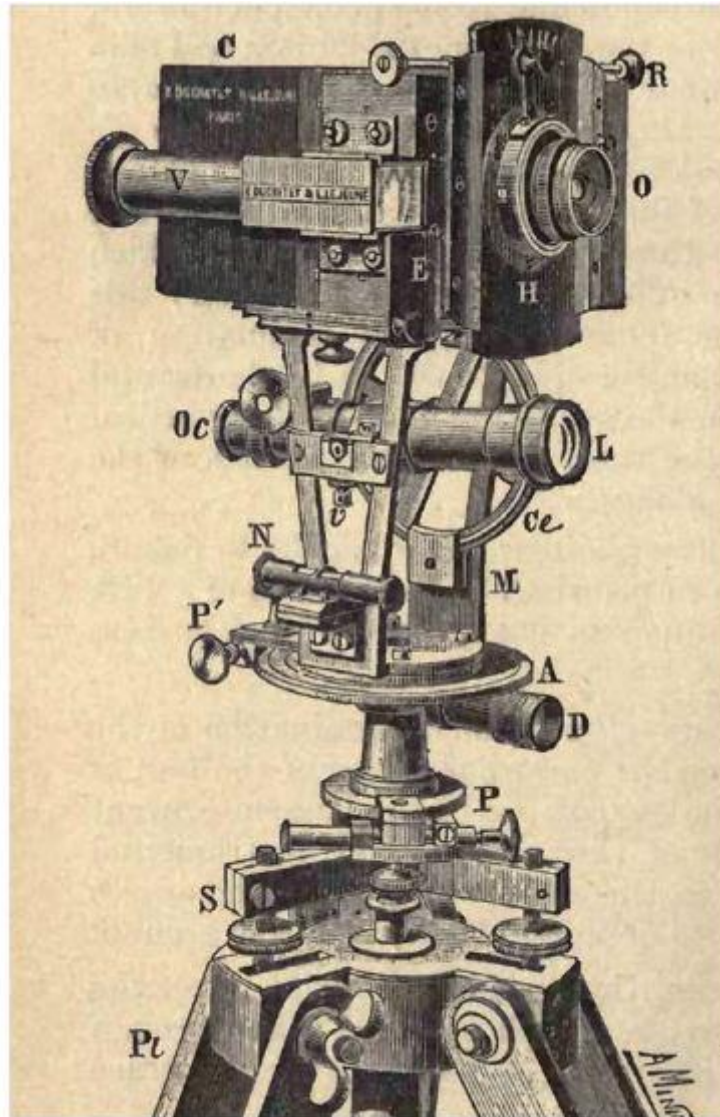


Figura 3.2. Ilustración del fototeodolito diseñado y empleado por Aimé Laussedat para llevar a cabo algunos de sus levantamientos fotogramétricos (Laussedat, 1898: 1-508).

Tradicionalmente se ha considerado a Aimé Laussedat (1819-1907) como el padre de la fotogrametría. Este militar francés, que terminó enseñando astronomía y geodesia en la *École Polytechnique* de París, llevó a cabo extensas investigaciones sobre el uso de la fotografía en la preparación de mapas topográficos. Para ayudarse en su tarea, Laussedat desarrolló además el denominado como “fototeodolito” (fig. 3.2), una especie

de teodolito con cámara fotográfica que permitía realizar fotografías con información topográfica muy precisa. Obviamente, estas fotografías debían ser corregidas posteriormente de forma manual. Para ello, Laussedat concibió un nuevo método de análisis matemático que permitía convertir las perspectivas superpuestas en proyecciones ortográficas en un solo plano. Los resultados terminó publicándolos en dos tomos titulados: *“Recherches sur les instruments, le méthodes et le dessin topographiques”* (Laussedat, 1898: 1-508).

Asimismo, Laussedat fue también uno de los pioneros, junto con Félix Nadar, en experimentar con la fotografía aérea. De este modo, montado cámaras de placa de vidrio sobre cometas o globos aerostáticos realizó algunas pruebas, en las cuales no obtuvo los resultados esperados. A pesar de su fracaso a la hora de crear un sistema de fotogrametría aérea, el método fotogramétrico terrestre que desarrolló dio tan buenos resultados que, a partir de 1861, se configura en torno a su persona un grupo de fotogrametría. Este equipo sería el encargado de la creación de mapas de un área de más de 72000 hectáreas, entre las que se incluían algunas zonas de los Alpes y la cordillera de los Vosgos. Previsiblemente, las posibilidades de este método matemático de corrección no se limitaron a la elaboración de mapas cartográficos, sino que ya Laussedat lo empleó en la documentación gráfica de diferentes elementos arquitectónicos (fig. 3.3). Entre estas primeras pruebas de la implantación de la fotogrametría en el ámbito del patrimonio destaca el levantamiento de algunas fachadas de los edificios o estructuras históricas de Francia (Granshaw, 2019: 132).

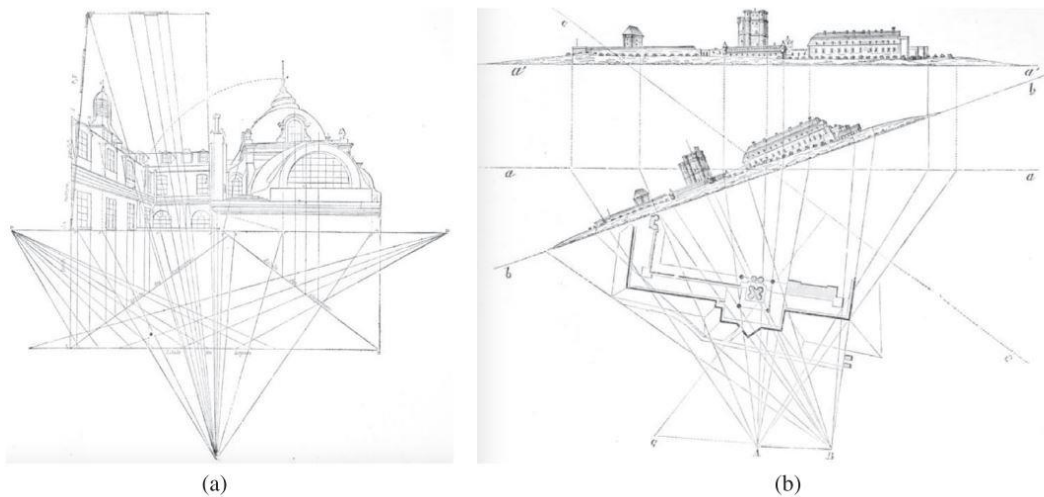


Figura 3.3. Fachadas levantadas por Laussedat en 1850 gracias a su sistema de levantamiento fotogramétrico (Granshaw, 2019: 132).

Casi coetáneamente, aparece la figura del ingeniero y arquitecto de origen prusiano Albrecht Meydenbauer (1834-1921). A él le debemos, entre otras cosas, el término de fotogrametría, el cual acuñó y utilizó por primera vez en 1867. Junto a ello, también desarrolló un nuevo sistema de levantamiento fotogramétrico que permitía elaborar mapas con un margen de error de tan solo 0,2 mm. Para dicha tarea, y dado que las cámaras de la época se mostraban insuficientes, Albrecht terminó diseñando sus propios modelos de cámara⁷.

Aunque se considera a Laussedat como el padre de la fotogrametría, Albrecht Meydenbauer fue el primero en utilizar, de forma sistemática, la fotogrametría para levantamientos de tipo arquitectónico, entendiendo con ello el enorme potencial de aplicar esta nueva técnica a la documentación y conservación del patrimonio cultural (Albertz, 2002: 21). Este hecho se materializó en 1885, cuando el Ministro de Cultura prusiano encargó a Meydenbauer la responsabilidad de llevar a cabo levantamientos fotogramétricos sobre algunos de los emblemáticos edificios de Prusia. A raíz de ello,

⁷ Meydenbauer consideraba que las cámaras de la época eran insuficientes para la obtención de levantamientos fotogramétricos precisos. Por ello, en 1867 construyó una cámara propia que tenía las siguientes características: una lente fija Pantoshop de 105°, un cuerpo rígido, palancas de nivelación, un dispositivo que permitía alinear el eje de la cámara, un marco con marcas fiduciales que permitía definir los ejes de coordenadas, utilizaba un formato de imagen 40x40 cm, Utilización de un vidrio como sustrato para la emulsión, con el fin de obtener la máxima planeidad en la película

nacerá también la primera institución oficial del mundo dedicada a la fotogrametría, el *Royal Prussian Photogrammetric Institute*.

La Fotogrametría Analógica (1900-1970)

La llegada del nuevo siglo trae consigo novedades en torno a la evolución de la técnica fotogramétrica. En 1901 Karl Pulfrich (1858-1927) presenta en Hamburgo el primer estereocomparador, basándose en los principios de la marca flotante de Soltze. De este modo, Pulfrich resuelve la identificación de puntos homólogos mediante la utilización de la visión estereoscópica y, gracias a ello, los complejos cálculos matemáticos necesarios para la creación de un levantamiento fotogramétrico, que antes se hacían de forma totalmente manual (Laussedat, 1898), pueden ser sustituidos por el empleo de instrumentos óptico-mecánicos: los restituidores. Este nuevo aparato (fig. 3.4) permitía obtener las tres coordenadas de cada punto de un objeto, gracias a las mediciones efectuadas en dos fotografías del mismo.

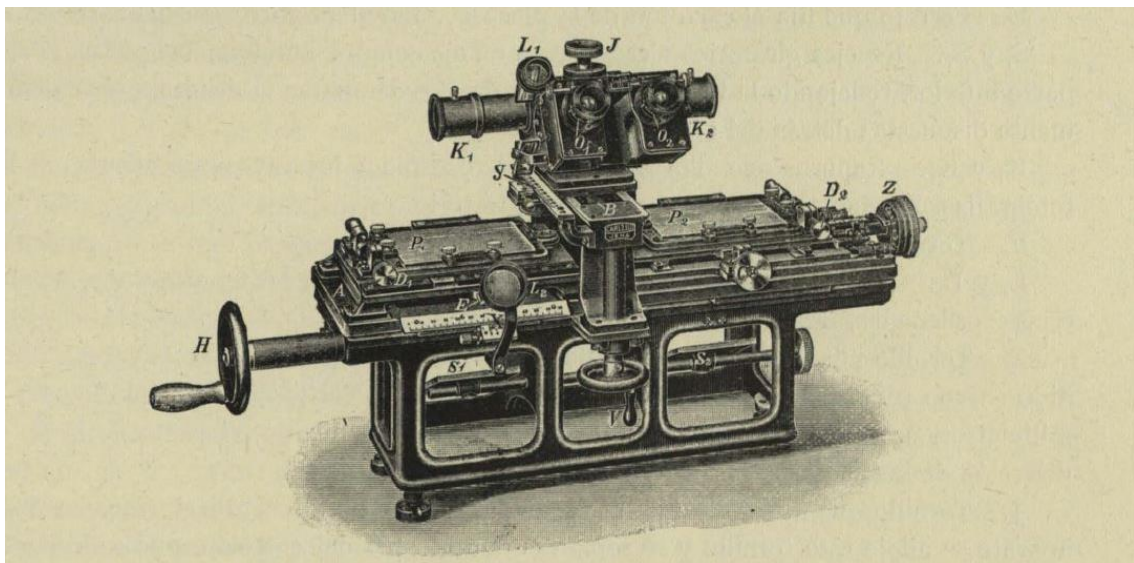


Figura 3.4. Estereocomparador de Pulfrich (Torroja, 1913: 63).

A raíz del descubrimiento de Pulfrich, Von Orel desarrollará el estereoautógrafo de Von Orel (fig. 3.5). Este aparato, cuyo modelo definitivo fue presentado en 1909, era capaz de resolver mecánicamente las ecuaciones que daban valores a los ejes X, Y y Z. Y no solo eso, sino que, guiado por un estereocomparador, el estereoautógrafo de Von Orel

era capaz de dibujar mediante curvas de nivel el plano de un objeto fotografiado. Todo ello de forma totalmente automática y continua.

Durante esta etapa conocida como Fotogrametría Analógica, comienza también a desarrollarse la aeronáutica y con ella la fotogrametría aérea, la cual se convertirá en un fuerte estímulo para el avance de esta técnica. Siempre de la mano, claro está, de sus aplicaciones militares.

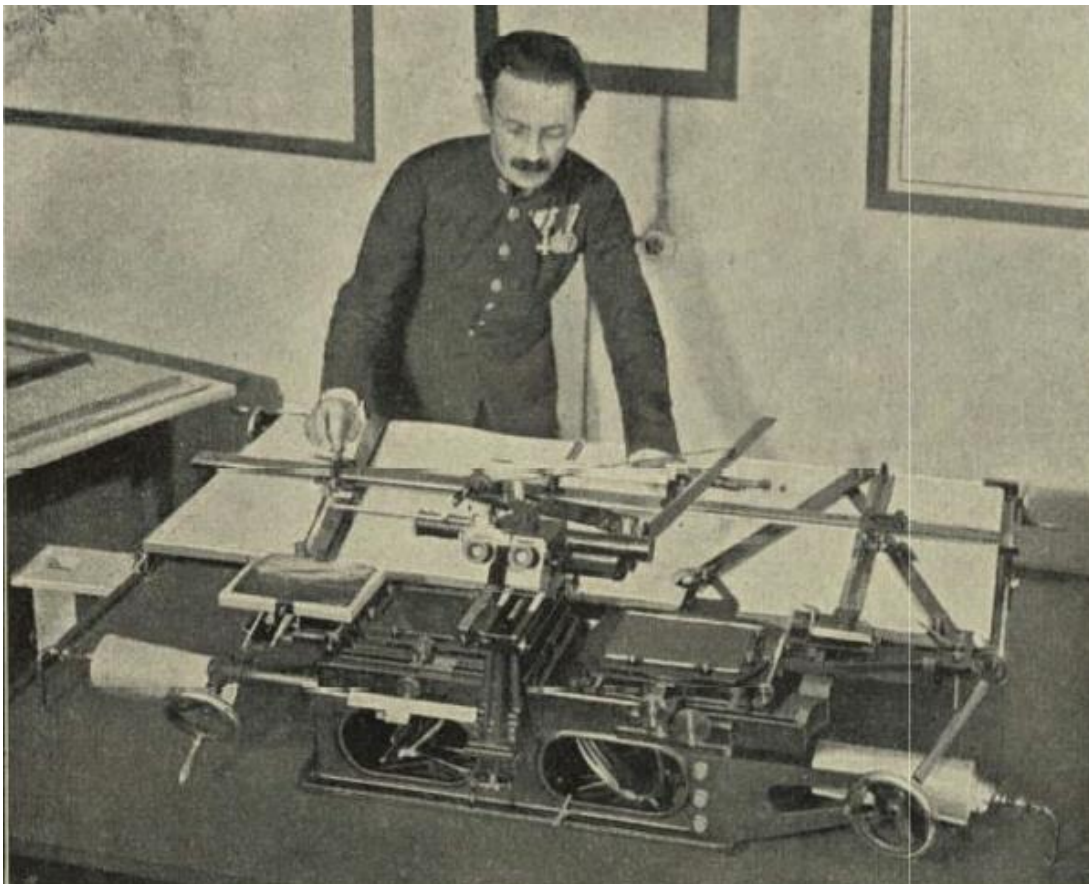


Figura 3.5. Estereoautógrafo diseñado por Von Orel (Torroja, 1913: 79).

La Fotogrametría Analítica (1970-1990)

Coincidiendo con el fuerte desarrollo de la informática que tiene lugar en la década de 1960, se produce un salto cualitativo importante en la técnica fotogramétrica. Las computadoras que, a través de programas informáticos son capaces de aplicar transformaciones analítico-matemáticas, resultan ser mucho más eficientes que el instrumental analógico precedente.

El proceso de restitución analítico es similar al analógico, pero todos los procesos de orientación se realizan en este caso mediante procesos matemáticos automatizados llevados a cabo por ordenador (fig. 3.6), pero supervisados siempre por un operador (Albertz y Wiedemann, 1995: 861-864).

Es un hecho innegable que la inclusión de los primeros ordenadores en los procesos de levantamientos fotogramétrico agilizó enormemente todo el proceso de restitución gráfica.

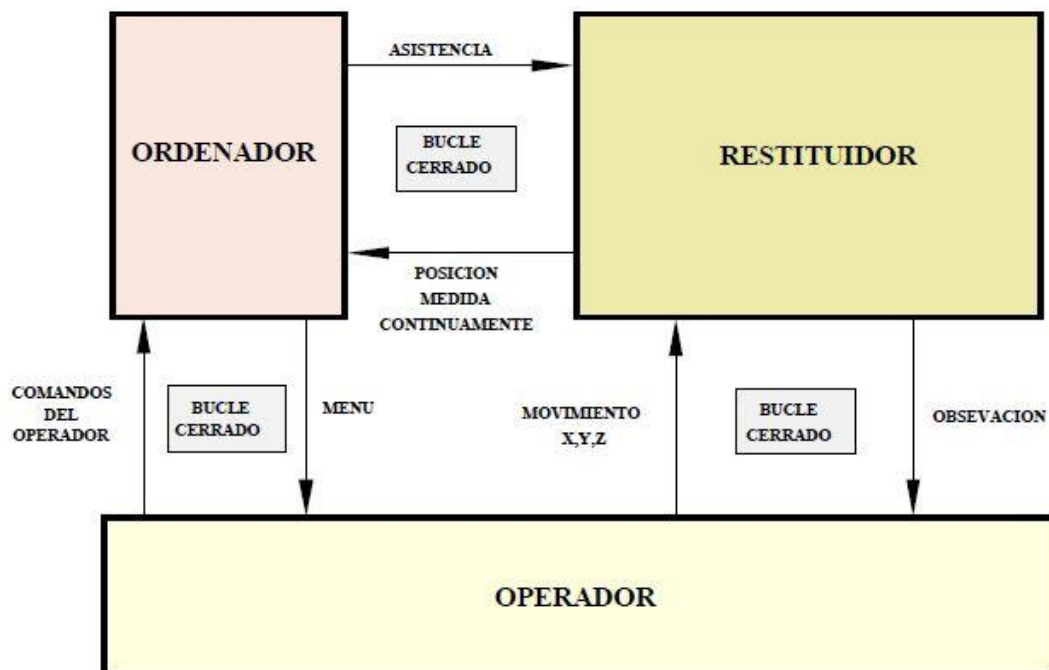


Figura 3.6. Bucles de trabajo en un restituidor analítico (Albertz y Wiedemann, 1995: 862).

Coincidiendo con el final de esta etapa analítica, aparecen algunos trabajos pioneros en el campo de la reconstrucción virtual. Trabajos de índole patrimonial como son la reconstrucción de la Catedral Vieja de Winchester llevados a cabo por Andrew G.N. Walter y Mike Stanley para el IBM UK Scientific Centre entre los años 1984 y 1986. Junto a este trabajo, los modelos realizados para el templo de Sulis Minerva en Bath o la Abadía Furness son también ejemplos precoces de la digitalización del patrimonio.

En estos años aún era evidente la separación entre dos técnicas, la fotogrametría y la reconstrucción digital, cuyos caminos terminarían confluyendo en una realidad común, la Arqueología Virtual.

La Fotogrametría Digital (1990-Actualidad)

El siguiente gran paso evolutivo, llegará con la aparición de las fotografías en soporte digital. Este tipo de imágenes mucho más estables y duraderas que sus homónimas físicas están compuestas por píxeles. Cada uno de estos píxeles llevan aparejados datos en formato numérico matricial (coordenadas, reflectancia, intensidad digital), lo que convierte a la imagen digital en un elemento matemáticamente analizable y, por ende, los procesos de cálculo llevados a cabo sobre ellas pueden ser automatizados (Vicent *et al.*, 1996: 24). Esto es posible gracias a la incorporación de algoritmos matemáticos de correlación. Junto a ello, el amplio grado de reproducibilidad de estos formatos digitales los convierte en un elemento mucho más fácilmente divulgable. Como bien indica Kevin Garstki (2017: 741), un defecto muy importante del proceso de captura fotográfica que se llevaba a cabo con los dispositivos daguerrotipo del siglo XIX fue, precisamente, su falta de reproducibilidad. Hándicap que se ve ampliamente superado con la llegada de estos nuevos formatos digitales.

De esta forma, en la década de los 90 y gracias al fuerte desarrollo de la informática aparecen los primeros restituidores digitales, simples ordenadores con un *software* específico. Los equipos analíticos de restitución serán definitivamente sustituidos por ordenadores que, además de ser considerablemente más económicos, eliminan en gran medida el factor de error humano de la ecuación y permiten orientar las fotografías (ya digitales) con mayor rapidez.

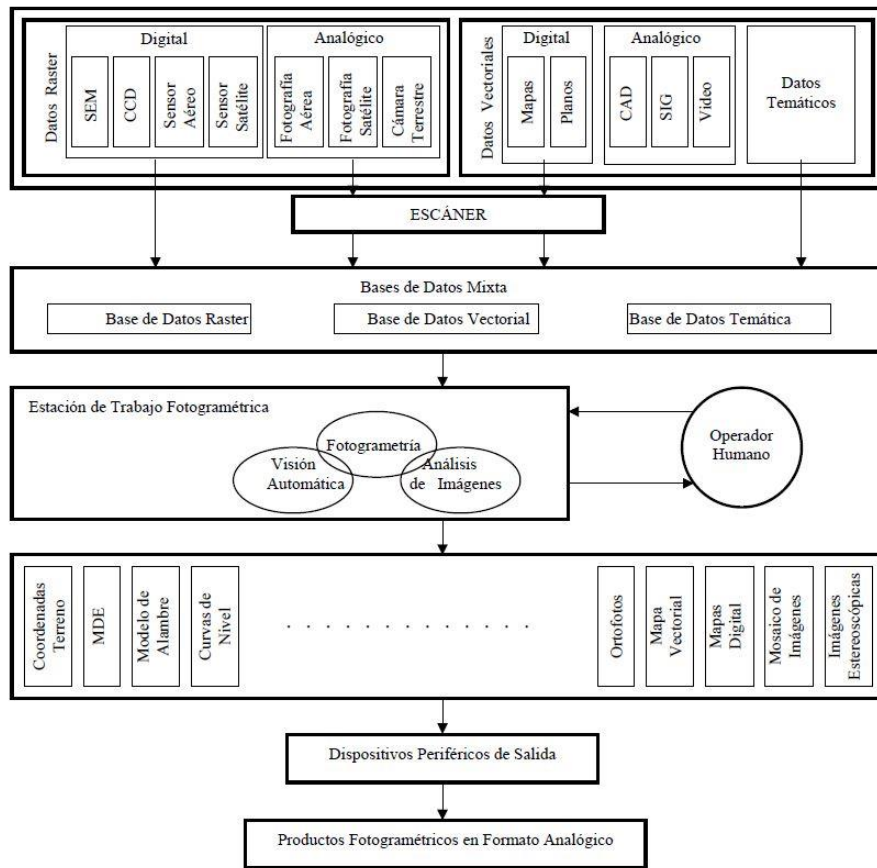


Figura 3.7. Diagrama de flujo de un Sistema Fotogramétrico Digital (Albertz y Wiedemann, 1995: 864).

Sin embargo, a pesar de que esta nueva fotogrametría digital terminará desplazando a los equipos analíticos, los planteamientos matemáticos para solucionar los problemas de perspectiva de la fotogrametría siguen siendo prácticamente idénticos (fig. 3.7). No así los resultados, que superarán el formato puramente analógico.

Junto a la generalización del uso de las fotografías en formato digital, en esta última etapa nos encontramos con dos hitos de gran importancia. En primer lugar, la creación de la estereofotogrametría digital que facilita la visualización de imágenes de manera estereoscópica a través del propio monitor del ordenador usando para ello imágenes coloreadas y gafas de anaglifos o gafas polarizadas. Años después, se produce el desarrollo del *Structure from Motion*, un paso importante en la automatización y democratización de la técnica fotogramétrica.

Pero, ¿qué es el *Structure from Motion* y qué implica para la fotogrametría?

A partir de los años 90 la increíble mejora en la visión computacional y la creación de equipos informáticos con una capacidad de procesamiento cada vez mayor, propició el desarrollo de una nueva forma de hacer y entender la fotogrametría. La fotogrametría multimagen o *Structure from Motion (SfM)*, permite obtener modelos tridimensionales obviando el tedioso trabajo de la orientación de los pares fotográficos. Esto es posible gracias a un procedimiento informático automatizado que permite orientar, simultáneamente, varias fotografías no estructuradas. A diferencia de los métodos anteriores, en el *SfM* la cámara puede desplazarse con libertad ya que no dependen de la escala ni la orientación proporcionadas por las coordenadas del objeto.

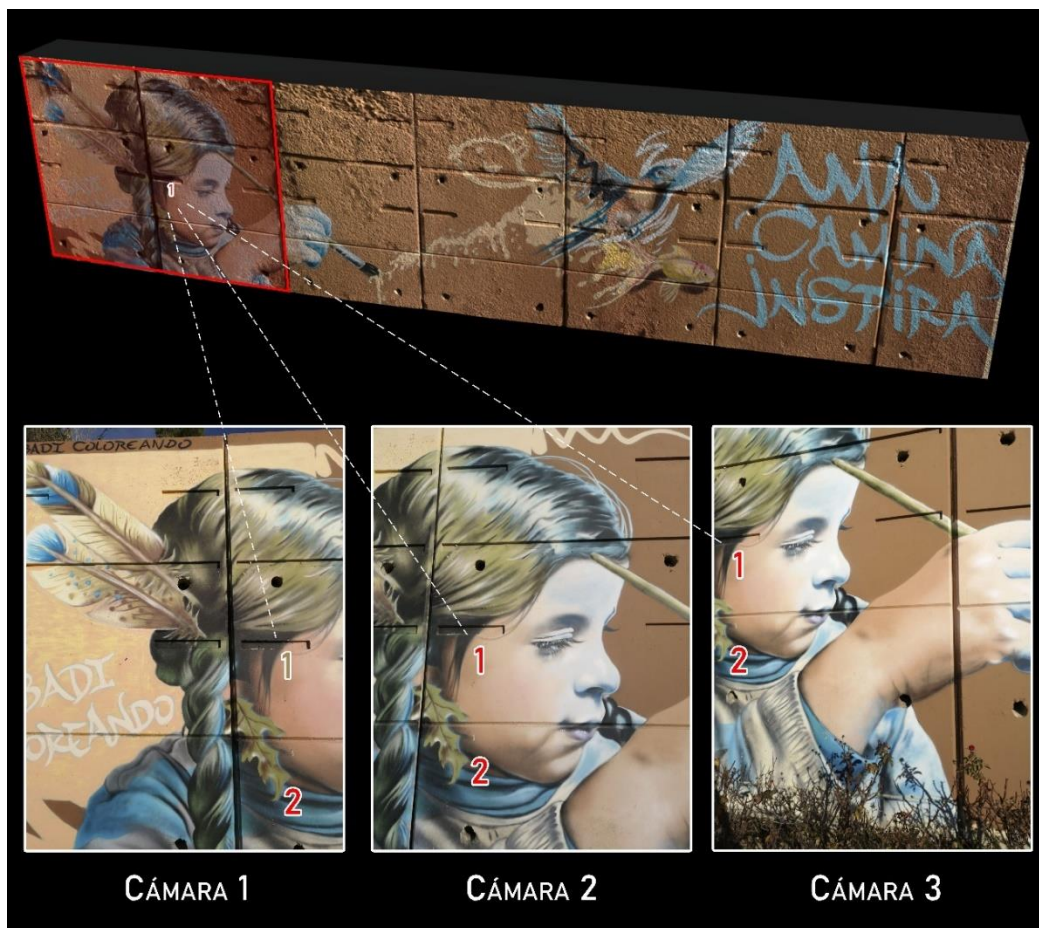


Figura 3.8. Ejemplo del funcionamiento de la fotogrametría *Structure from Motion* y la obtención de puntos en común en diversas fotografías a través de algoritmos como el *Scale-invariant feature transform (SIFT)*.

Esto es posible gracias a la incorporación de una serie de algoritmos que, de forma automática, generan procesos capaces de identificar características en cada imagen

independientemente de la escala o la orientación de las mismas (Szeliski, 2011, p. 192). Algunos de los más conocidos y estables son el *Scale-invariant feature transform* (SIFT), algoritmo desarrollado por David Lowe (1999: 1052-1055; 2004: 93-108) que permite detectar puntos o características comunes entre pares de imágenes, o el *Bundle Adjustment* (Green *et al.*, 2014: 175-179; Remondino *et al.* 2017: 594; Wu *et al.*, 2011: 3059-3062). Este proceso realiza la recolocación espacial tanto de una serie de puntos coincidentes entre imágenes como de las posiciones de las cámaras que tomaron dichas imágenes respecto a la escena (fig. 3.8).

Afortunadamente, la fotogrametría comienza a convertirse en un procedimiento cada vez más sencillo, rápido y económico, lo que ha permitido ampliar sus fronteras de uso a personas con un escaso o nulo conocimiento sobre su funcionamiento interno. De este modo, cualquier persona en posesión de una cámara es perfectamente capaz de realizar un modelo fotogramétrico de casi cualquier cosa, solo siguiendo unas sencillas pautas.

Desde este momento y hasta la actualidad, la evolución de la fotogrametría ha seguido en consonancia con esta tendencia de automatización y simplificación (Remondino *et al.*, 2012: 42-52; Remondino *et al.*, 2017: 592-597; Schönberger y Frahm 2016: 4104-4111). Los esfuerzos actuales en la implementación de esta técnica, se centran principalmente en la mejora de los equipos informáticos o en el desarrollo de algoritmos y *softwares* (comerciales y libres) que permitan alcanzar modelos cada vez más precisos.

3.2.2 Posibilidades de aplicar la fotogrametría en el patrimonio arqueológico de pequeño y mediano tamaño.

“The important thing in science is not so much to obtain new facts as to discover new ways of thinking about them.”

Sir William Henry Braggs, Premio Nobel de Física, 1915

Como habrán podido comprobar, la utilidad de una técnica como la fotogrametría *SfM* es, a día de hoy, incuestionable. Una tendencia esta, la de digitalizar objetos tridimensionalmente, que se está convirtiendo en una realidad tan indispensable en Arqueología como la propia fotografía (Almagro, 2004: 352; García y Osuna, 2019: 1-82; Garstki, 2017: 728; González, 2016: 163-180). Sus ventajas sobre otras técnicas como el láser escáner de luz estructurada es un hecho que ya ha sido abordado en la literatura científica con algunos trabajos específicos al respecto (Baltsavias, 1999: 84-92; Balzani *et al.*, 2002: 446-450; Grussenmeyer *et al.*, 2008: 214-216; Westboy *et al.*, 2012: 301-312; Fassi y Fregonese, 2013: 79; Benavides, 2017: 50-500). El nivel de precisión de la fotogrametría es prácticamente equiparable al de cualquier dispositivo de láser scanner, con el añadido de que la calidad de las texturas, un elemento que aporta una valiosísima información, es infinitamente superior.

Igualmente, la versatilidad de este procedimiento lo convierten en una herramienta perfectamente aplicable a elementos de tamaños y naturalezas muy diversas.

Hasta este momento, el interés de la fotogrametría terrestre clásica se había centrado sobre aquellos bienes monumentales como edificios y estructuras de gran tamaño. No obstante, su aplicación sobre objetos patrimoniales de mediano y pequeño tamaño reporta también abundantes beneficios.

En el caso concreto de la digitalización de piezas de pequeño tamaño, lo que comúnmente denominamos como “fotogrametría de laboratorio”, conlleva un flujo de trabajo con algunas variaciones que analizaremos más profundamente en un apartado específico. No obstante, en términos generales, los resultados son idénticos a los de la

fotogrametría de estructuras arquitectónicas. El producto final es un modelo tridimensional creado a partir de información bidimensional y que es perfectamente medible. En este punto, a diferencia de lo que ocurre con la fotogrametría previa al *Structure from Motion*, el formato digital “.psx” que se obtiene en *softwares* como Agisoft Metashape® (Agisoft LLC, 2006: en línea) o el “.rcproj” de Reality Capture® (Reality, 2016: en línea) es una malla geométrica digital con texturas realistas. En definitiva, una réplica digital de un objeto real que permite un amplio margen de manipulación.

Como hemos visto en el capítulo inicial, los usos más importantes que derivan de un modelo 3D obtenido mediante fotogrametría son los que atañen a la conservación, documentación y puesta en valor del patrimonio. Pero las posibilidades que dimanan de estos tres aspectos principales son, sin duda alguna, mucho más dilatadas. En efecto, este tipo de material fácilmente conservable, duplicable y manipulable, se convierte en una interesante materia prima, casi ilimitada, sobre la que trabajar.

El resultado final de un proceso fotogramétrico no es solo un conjunto de megabytes que deben ser almacenados. Esta estructura digital más o menos pesada puede ser restaurada, reconstruida, recreada y analizada en sus múltiples aspectos. Todo ello a través de un amplio abanico de programas. Como hija natural de la fotografía, la fotogrametría es un esfuerzo por presentar de forma objetiva la realidad, sin filtrar y sin el boato o el adorno característico de las obras pictóricas (Garstki, 2017: 728-745). De esta forma, como réplicas casi idénticas de sus homónimos tangibles, podemos inferir que los procedimientos llevados a cabo sobre ellas pueden derivar en datos potencialmente veraces sobre su realidad connatural (Lanjouw, 2016). Como muy bien describen Olson y Plachetti (2015: 22): *“3D model is no replacement for the authentic experience of an original, but it can potentially serve as an enduring record of an artifact, feature, or site in a field burdened, even under the best conditions, by the inevitable degradation of material over time”*.

En los próximos apartados, trataremos de describir con mayor detalle algunos de los procedimientos que se pueden llevar a cabo sobre modelos fotogramétricos 3D, su

utilidad y los beneficios que reportan de cara a una disciplina como la Arqueología. Pero antes, es necesario abordar la base de todo, el flujo de trabajo necesario para elaborar modelos fotogramétricos minuciosos.

3.3 Un modelo cualquiera en fotogrametría *SfM*

Gracias al fuerte desarrollo de la fotogrametría convergente multimagen, actualmente no es necesario planificar de forma estricta la captura de datos, ni si quiera calibrar previamente las cámaras (Karras *et al.*, 2002: 40-44; Pereira, 2013b: 79-86, 2016: 51-57). Con solo tres fotografías de un mismo objeto es posible extraer suficientes puntos en común y calcular así su posición en el espacio. Obviamente, este es el mínimo necesario, lo habitual es emplear decenas e incluso cientos de fotografías. Todo dependerá, por regla general, de la envergadura y las características físicas del elemento que queremos digitalizar.

En este punto, se suele pensar que un mayor número de fotografías permite obtener modelos normalmente con mayor calidad geométrica. Esto es una verdad a medias. Es cierto que un número insuficiente de imágenes puede acarrear vacíos de información en según qué objetos, sin embargo, introducir un exceso de datos lastra considerablemente el procedimiento del *software* y supone ampliar también su margen de error. En otras palabras, al sobrecargar de fotografías nuestro proyecto fotogramétrico no solo estamos potenciando aquellos datos útiles, sino también esos otros que pueden desencadenar errores. En el caso concreto de piezas de pequeño y mediano tamaño nunca es necesario superar la centena, siendo contraproducente añadir imágenes extra, ya que estas pueden eternizar el proceso de cálculo de nuestro *software*. Habría que hacer, no obstante, una pequeña aclaración.

En la práctica, tras haber realizado decenas de modelos tridimensionales, podemos afirmar que, en algunas ocasiones, la escala no es un indicador objetivo para calcular el número de fotografías necesarias. Por regla general, los modelos de grandes

extensiones del terreno llevados a cabo con UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado), los levantamientos fotogramétricos de edificios o la captura de monumentos de gran tamaño suelen precisar de un mayor número de imágenes que elementos muebles de pequeñas dimensiones. No obstante, para obtener reproducciones virtuales de bienes patrimoniales cuyo tamaño es especialmente reducido (fig. 3.9), la cantidad de fotografías deberá incrementarse para conseguir unos buenos resultados. Estamos hablando de flujos de trabajo que emplean dispositivos fotográficos tradicionales, no englobamos en este caso procedimientos de captura a través de dispositivos de microscopía como el *Scanning Electron Microscope* (Maté *et al.*, 2015: 129-138; Mínguez, 2017: 5-70). A escalas tan pequeñas, contando incluso con objetivos macros, se recomienda la realización de un mínimo de 100 disparos, cuando la media necesaria para un proceso de captura en fotogrametría de laboratorio ronda las 60-70 fotografías.

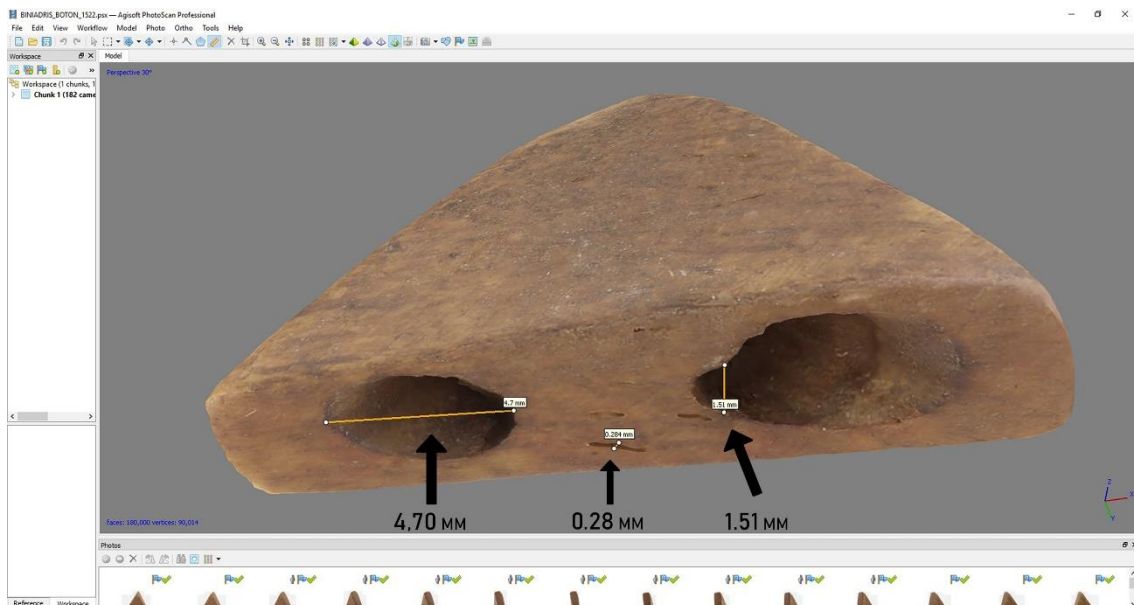


Figura 3.9. Modelo fotogramétrico realizado sobre un botón tipo trenca perforado en V procedente de la Cueva de Biniadris en Menorca (Altamirano y Alarcón, 2018: 113). A pesar de que el modelo tridimensional puede ser ampliado y reproducido en dimensiones mucho mayores, el tamaño del objeto original es muy reducido, tal y como se aprecia en las medidas tomadas en Agisoft Photoscan.

3.3.1 *Softwares* y equipo empleado

Con el objetivo de garantizar una correcta transparencia sobre el origen de la información y parámetros producidos durante la presente tesis (Bentkowska-Kafel *et al.*, 2016: 10-280; Pereira Uzal, 2019), y esclareciendo con ello todos y cada uno de los aspectos de los procedimientos de índole digital realizados, se estimó conveniente describir tanto los *softwares* involucrados como el propio equipo, tanto informático como fotográfico, que fue utilizado durante la elaboración del presente trabajo.

3.3.1.1 *Softwares*

A continuación, se enumeran y explican brevemente todos aquellos programas informáticos que han intervenido en alguno de los aspectos del procesado y postprocesado de los modelos fotogramétricos mencionado dentro de la presente tesis. Por motivos de espacio y temática se obviarán todos aquellos programas que intervienen de forma indirecta en alguna de las partes del proceso. Por ende, todos aquellos programas de procesamiento de texto (Microsoft Word, Bloc de Notas), visualización de texto (Adobe Acrobat Reader), reproducción de video o (VLC Media Player) o *softwares* de gestión bibliográfica (Mendeley) quedan excluidos del siguiente listado.

- Agisoft Metashape[®] (Agisoft LLC, 2006: en línea)

Anteriormente conocido como Agisoft Photoscan este *software* comercial de origen ruso es una herramienta de gran potencia capaz de generar modelos fotogramétricos de gran resolución, con relativa sencillez y a partir de cualquier tipo de fotografía digital. Una de las principales ventajas de Agisoft Metashape es el alto grado de manipulación que permite durante todo el proceso de elaboración del modelo, así como el extenso abanico de formatos en los que permite exportar el modelo fotogramétrico. Esto resulta especialmente útil a la hora de postprocesar los modelos digitales resultantes.

A pesar de ser un programa de pago, su constante implementación, a la que ha de sumarse la potencia y eficiencia de los algoritmos con los que trabaja, lo convierten,

junto con Reality Capture, en uno de los *softwares* fotogramétricos más competitivos del mercado.

El grueso de los modelos tridimensionales generados como parte del cometido de esta tesis han sido llevados a cabo mediante este programa.

- Reality Capture[®] (Reality, 2016: en línea)

Se trata de un *software* fotogramétrico comercial y de pago de origen eslovaco y con el que es posible elaborar modelos fotogramétricos de altísima resolución a partir de cualquier tipo de fotografía digital. Aunque en menor medida que Agisoft Metashape, este programa permite también un alto grado de manipulación durante todo el proceso de elaboración del modelo tridimensional. También permite exportar la réplica fotogramétrica a algunos de los formatos más universales que existen.

El funcionamiento es muy similar al del anteriormente mencionado Agisoft Metashape, sin embargo, el resultado suelen ser modelos algo más pesados, de mayor resolución. Las posibilidades de ambos *softwares* serán comparadas en un subapartado específico más adelante.

- Free Video to JPG Converter[®] (DVDVideoSoft Ltd., 2016: en línea)

Software de licencia gratuita que permite fragmentar un video en frames o fotografías, lo que permite elaborar modelos fotogramétricos a partir de archivos de video. Este programa soporta algunos de los formatos de vídeo más populares, entre ellos, AVI, MPG, MP4, WMV, ASF, 3GP o FLV.

- Blender[®] (Blender, 1998)

Blender es una suite de creación 3D de licencia gratuita y código abierto. Dado su carácter multiplataforma permite gestionar una gran cantidad de procesos derivados de una modelo 3D: modelado, esculpido digital, animación, simulación, renderizado, composición y seguimiento de movimiento, incluso edición de video y creación de juegos.

Del mismo modo, aquellos usuarios más avanzados y versados en el lenguaje de programación pueden generar la API de Blender para las secuencias de comandos de Python. Gracias a ello es posible personalizar la aplicación, programar herramientas especializadas y generar procedimientos automatizados.

Blender es una herramienta tan completa como potente que se adapta perfectamente al trabajo relacionado con la arqueología o la gestión digital del patrimonio en todas sus vertientes. Sin duda, este programa se ha convertido en la base sobre la que ha pivotado todo nuestro trabajo así como la gran mayoría de los resultados obtenidos en la tesis doctoral. En mayor o menor medida, el *software* fue empleado para gestionar, modificar, optimizar y analizar los modelos fotogramétricos obtenidos en Agisoft Metashape o Reality Capture.

- Adobe Photoshop® (Adobe, 1990)

Adobe Photoshop es un editor de gráficos rasterizados desarrollado por Adobe Systems Incorporated. Este *software* comercial y de pago es usado habitualmente para el retoque fotográfico y el diseño gráfico.

A pesar de que existen alternativas gratuitas como GIMP, Adobe Photoshop es, sin duda alguna, el *software* más potente de este sector. Al igual que ocurría con Blender, Photoshop ha sido ampliamente utilizado durante la elaboración de la presente tesis en tareas de pre y postprocesado de los modelos fotogramétricos presentados. El retoque de fotografías, la creación semiautomatizada de máscaras de capa, la gestión de los mapas de texturas de nuestros modelos, así como la elaboración de las infografías incluidas en el trabajo, son algunas de sus principales y más útiles usos.

- Adobe Lightroom® (Adobe, 2006)

Adobe Lightroom es un *software* de edición fotográfica desarrollado también por la compañía Adobe System Incorporated. Es igualmente un *software* comercial y de pago.

A diferencia de Photoshop, Lightroom se centra única y exclusivamente en el retoque y la gestión de las fotografías. Aunque las versiones actuales de Adobe Photoshop

incluyen Camera Raw, un addon específico para ello, Lighroom sigue teniendo una interfaz más completa y resulta mucho más sencillo de usar cara a la gestión y el retoque de un gran volumen de fotografías.

- Instant Meshes® (Jakob *et al.*, 2015: 3-12; Meshes, 2015: en línea)

Instant Meshes es un *software* libre y gratuito que incorpora un algoritmo de retopología automático que consigue reestructurar mallas digitales complejas y generalmente compuestas por *ngons* o triángulos en otras mucho más lógicas basadas principalmente en *quad* (polígonos de cuatro lados). Todo ello de una forma rápida y sencilla, y sin apenas intervención del usuario.

En combinación con Blender este *software* resultó de vital importancia a la hora de acelerar los procesos de retopología y optimización de gran parte de las piezas integradas en este trabajo. Algo que, como veremos, resulta esencial a la hora de llevar a cabo gran cantidad de postprocesos.

- Zbrush® (Pixologic, 1999: en línea)

Aunque tras la llegada de la versión 2.8 de Blender ZBrush ha sido empleado de forma anecdótica, algunas piezas de la presente tesis fueron procesadas mediante este *software* de modelado 3d, escultura y pintura digital. Por este motivo, se estimó conveniente mencionarlo en este apartado.

Zbrush es un programa comercial y de pago de gran potencia que ahonda en las posibilidades del esculpido digital. A pesar de sus enormes posibilidades, por comodidad y unidad las tareas de esculpido digital han terminado llevándose a cabo solo en el *software* multiplataforma Blender, el cual unifica varias de estas herramientas de diseño 3D.

- Substance Painter® (Deguy, 2011: en línea)

Esta herramienta inicialmente diseñada por Sébastien Deguy como parte de su tesis doctoral, pasó en 2019 a formar parte de la Adobe System Incorporated. Se trata de un

software comercial y de pago muy empleado en la industria del cine y el videojuego para dar texturas fotorrealistas a entornos y objetos digitales.

Tal y como ocurría como Zbrush, Substance Painter ha sido empleado a lo largo de esta tesis solo de forma anecdótica en algunas piezas seleccionadas.

- Meshlab® (ISTI - CNR, 2008)

Meshlab es un *software* libre y gratuito de procesamiento de malla tridimensionales. El programa que está orientado a la gestión y el procesamiento de mallas grandes no estructuradas, aporta un conjunto de herramientas para editar, limpiar, reparar, analizar y renderizar este tipo de cuerpos digitales.

Durante el desarrollo del presente trabajo, Meshlab ha sido habitualmente empleado como herramienta de análisis volumétrico con el objetivo de comparar los datos arrojados con aquellos otros aportados por Blender.

Dado que es este *software* que dejó de implementarse hace algunos años, el resto de funciones han quedado algo obsoletas y preferimos realizarlas en entornos digitales como Blender.

- CloudCompare® (Girardeau-Montaut, 2003: en línea)

CloudCompare es un *software* de procesamiento de nubes de puntos y mallas digitales obtenidas mediante láser escáner o fotogrametría por Daniel Girardeau-Montaut como parte de su tesis doctoral. El programa de acceso libre y gratuito permite comparar varios modelos entre ellos y detectar así cambios sutiles en la densidad y disposición de los mismos, arrojando a su vez datos alfanuméricos con los resultados.

Todo ello, convierte a CloudCompare en un programa idóneo a la hora de comparar varios modelos fotogramétricos y analizar las diferencias morfométricas entre ellos. A lo largo de la elaboración de esta tesis el programa ha sido varias veces empleado con el objetivo de corroborar tipologías cerámicas o comparar la precisión de los modelos escaneados mediante fotogrametría.

- ImageJ (Dstretch)® (Harman, 2005: en línea; ImageJ, 1997: en línea)

ImageJ es un programa de procesamiento de imagen digital de acceso libre y gratuito programado en Java y desarrollado en el *National Institutes of Health*. Gracias a su arquitectura abierta el *software* proporciona una gran amplitud de usos a través de los numerosos *plugins* o extensiones que existen.

En el caso concreto de esta tesis, ImageJ fue empleado en conjunto con el *plugin* de decorrelación por estiramiento desarrollado por Jon Harman y que permite potenciar determinadas gamas cromáticas.

- Ultimaker Cura® (Ultimaker, 2011)

Ultimaker Cura es un *software* de laminado o segmentación de modelos tridimensionales que permite prepararlos para su posterior materialización a través de diferentes tipos de impresoras 3D.

El *software* de acceso libre y completamente gratuito fue desarrollado por la compañía Ultimaker y ha sido utilizado de forma recurrente a lo largo de la confección de la presente tesis doctoral como parte final del flujo de trabajo.

- RTIBuilder® (CHI, 2013b)

RTIBuilder es un *software* informático basado en Java y desarrollado por *Cultural Heritage Imaging* que permite, a partir de un conjunto de imágenes digitales, producir modelos de re-iluminación basado en la técnica de la *Reflectance Transformation Imaging*. El programa, de acceso libre y gratuito.

El programa ha sido empleado a lo largo de la tesis para completar el flujo de trabajo conducente a la elaboración de modelos de RTI virtual, sobre los cuales hablaremos más en profundidad en siguientes subapartados.

- RTIViewer® (CHI, 2013c)

RTIViewer es un *software* informático de acceso libre y gratuito basado en arquitectura Java y desarrollado por *Cultural Heritage Imaging* que permite visualizar los modelos de reiluminación *Polynomial Texture Mapping* generados a través de *softwares* como

RTIViewer. Del mismo modo, junto a la manipulación interactiva del modelo, RTIViewer permite obtener capturas de los diferentes puntos de vista de nuestro objeto. El programa, de acceso libre y gratuito.

El programa ha sido empleado a lo largo de la tesis para completar el flujo de trabajo conducente a la elaboración de modelos de RTI virtual, sobre los cuales hablaremos más en profundidad en siguientes subapartados.

- Window Movie Maker® (Microsoft, 2000: en línea)

Software de edición de video desarrollado por Microsoft Corporation. Es un programa comercial y de pago que permite editar clip de videos de forma profesional.

Fue empleado a lo largo de la tesis y en conjunto con Blender para elaborar las animaciones de varios modelos tridimensionales y postprocesos.

- Sony Vegas pro 16.0® (Sony, 1999: en línea)

Software de edición de video desarrollado por Sonic Foundry. Es un programa comercial y de pago que permite editar clip de videos de forma profesional.

Fue empleado a lo largo de la tesis y de forma conjunta con Blender para elaborar las animaciones de varios modelos tridimensionales y postprocesos.

3.3.1.2 *Equipo informático*

La mayoría de los procedimientos han sido llevados a cabo a través del ordenador de sobremesa. No obstante, durante nuestras estancias fuera de la Universidad de Granada, nos vimos obligados a emplear el ordenador portátil.

- Ordenador de sobremesa personalizado
 - Placa base Gigabyte Z270X-Gaming 5
 - Procesador AMD Ryzen 7 1800X a 3.6 GHz
 - Tarjeta Gráfica Nvidia GTX 1080 de 8 GB
 - Memoria RAM de 32 GB

- Disco duro 512 SSD + 4 TB HDD
- Ordenador portátil Macbook Pro Retina 13" 2016
 - Procesador Intel core i5 a 2.7 GHz
 - Tarjeta Gráfica integrada
 - Memoria RAM de 8 GB
 - Disco duro 256 SSD

3.3.13 *Equipo fotográfico*

- Cuerpo cámara CANON EOS 600D de 18 mpx (No full frame)
- Objetivos
 - Sigma 17-50mm f/2.8 EX DC OS HSM
 - Canon 18-55mm EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS I
 - Yongnuo fijo de 35mm f/2
 - Canon EF 100mm f/2.8 MACRO USM
- Trípode hama STAR 61
- Disparador a distancia Amazon Basics

3.3.2 Flujos de trabajo específicos

Antes de nada, sería pertinente aclarar que el sistema de elaboración de un modelo de estas características, difiere sustancialmente, tanto en la captura como el procesado de los datos, de las metodologías empleadas para el levantamiento fotogramétrico de sectores de excavación, arquitectura o grandes superficies de terreno. La principal diferencia, en este caso, es la ausencia de una orientación absoluta a partir de coordenadas georreferenciadas precisas.

Dicho esto, en las líneas siguientes pasaremos a desglosar, pormenorizadamente, cuáles son los pasos necesarios para la elaboración de una modelo tridimensional a partir de dos sistemas perfectamente diferenciados. Cada uno de estos flujos metodológicos

incluye, a su vez, dos fases de trabajo diferentes. A saber, las tareas conducentes a la captura de los datos y el procesado de los mismos.

3.3.2.1 Flujo de trabajo 1. Fotogrametría de Laboratorio

En primer lugar, ha de generarse un ambiente perfectamente controlado a través de un sistema de luces artificiales, una caja de luz, un trípode, una mesa rotatoria y un dispositivo fotográfico compuesto, preferiblemente, por una cámara réflex digital (DSLR) y un objetivo cuya distancia focal dependerá en gran medida del objeto a digitalizar. Esto es lo que comúnmente se denomina como fotogrametría de laboratorio. Este sistema de captura es especialmente útil para aquellos elementos muebles cuyas dimensiones no sobrepasen nunca los límites de nuestra caja de luz.

1) Captura de Imágenes

Las imágenes componen la materia prima básica sobre la que se apoya la construcción de una réplica digital (fig. 3.10). Por este motivo resulta conveniente que, durante la toma de las mismas, se cumplan unos requisitos mínimos de calidad.

CALIDAD DEL MODELO FOTOGRAMÉTRICO FINAL

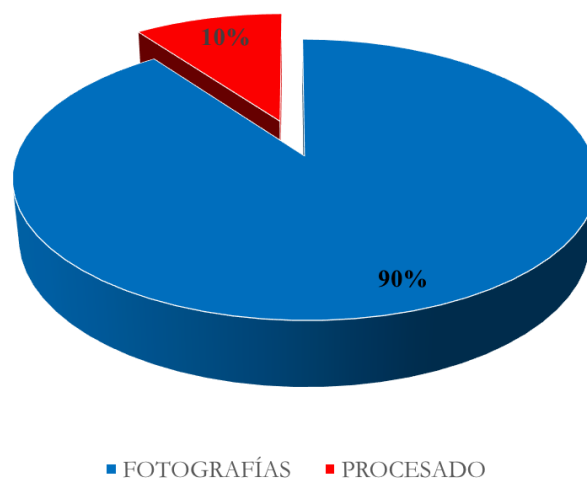


Figura 3.10. Grado de importancia que tiene la captura de fotografías a la hora de realizar un modelo fotogramétrico.

Ante todo, es preciso entender que las imágenes empleadas para un proceso fotogramétrico no son fotografías artísticas. No se busca el atractivo visual, sino la pura funcionalidad. Una gran nitidez, una profundidad de campo alta, así como la ausencia de sombras, brillos, aberraciones cromáticas o ruido, son algunos de los aspectos a tener en cuenta para obtener la imagen ideal. Para conseguir este objetivo, es recomendable cumplir una serie de pasos.

a) Planificación

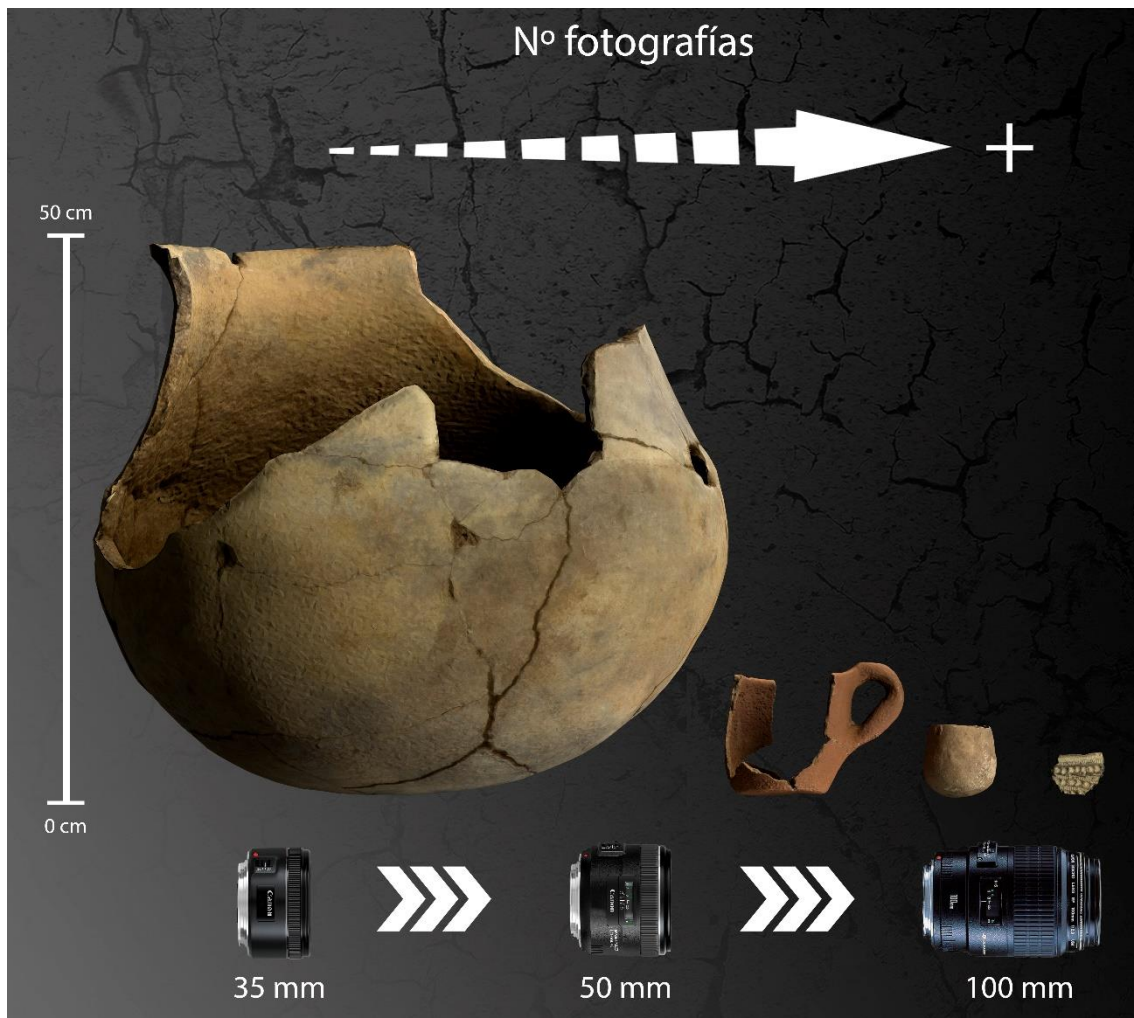


Figura 3.11. Cuestión de escala. Dependiendo del tamaño del objeto a digitalizar, se habrá de elegir el objetivo o la lente que mejor se adapte a este. Igualmente, la estrategia de captura variará ligeramente.

Dado que cada elemento tiene una forma, material y tamaño diferentes, es importante planificar correctamente la forma de abordar cada caso específico. Según las particularidades formales de cada pieza, se calibrarán aspectos como la iluminación, el

tamaño de la caja de luz usada, la posición que tendrá el objeto dentro de ella, el objetivo a emplear (fig. 3.11) o la posición y el encuadre de la cámara. Una planificación previa no solo agiliza y optimiza el proceso, sino que reduce problemas futuros que pueden llevar, en algunos casos, a arruinar toda una sesión de captura.

Dado que los modelos tridimensionales de objetos de pequeño y mediano tamaño no suelen ir georreferenciados, las dianas o puntos de apoyo fotogramétricos son generalmente prescindibles (Benavides, 2017: 120). No obstante, en determinadas casuísticas puede ser recomendable su uso.

b) Medidas de la pieza y realización de la ficha de control


FICHA TÉCNICA PARA EL CONTROL DEL PROCESO Y POSTPROCESO FOTOGRAMÉTRICO	
DATOS DE INVENTARIO	
NÚMERO DE FICHA: 0026	FECHA: 01/08/2019
ENCARGADO: Alexis Maldonado Ruiz	
DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
NOMBRE O SIGLATURA DE LA PIEZA: AJ641	
LOCALIZACIÓN ACTUAL: Laboratorio Arqueometría	
PROCEDENCIA REAL: Villares de Andújar (Jaén)	
CRONOLOGÍA: siglo I d.C.	
CULTURA: romana	
BREVE DESCRIPCIÓN (Incluir Color, Decoración, Naturaleza del material y Forma: Fragmento de terra sigillata hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España) donde se conserva el sigillum o rúbrica del maestro alfarero que lo fabricó.	
DIBUJO y/o FOTOGRAFÍA:	
	
DIMENSIONES	
Longitud:	Altura: 0 Diámetro:
DATOS DE LA CAPTURA FOTOGRAFICA	
Nº FOTOGRAFÍAS EMPLEADO: 69	FORMATO IMAGEN: RAW//JPEG/PNG
EQUIPO UTILIZADO	
TIPO DE CÁMARA: CANON	MODELO: EOS 600D
EQUIPO ILUMINACIÓN <input checked="" type="checkbox"/>	TRIPODE <input checked="" type="checkbox"/> OTROS:
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MODELO 3D	
Nº PUNTOS (NUBE LIGERA): 87519	Nº PUNTOS (NUBE Densa): 1506386
Nº CARAS (MALLA): 301276	Nº VÉRTICES (MALLA): 150640
SOFTWARES FOTOGRAMÉTRICOS EMPLEADOS: Agisoft Photoscan	
PROCEDIMIENTOS DIGITALES ADICIONALES	
RETOPOLOGÍA <input checked="" type="checkbox"/>	CALCULO VOLUMÉTRICO <input type="checkbox"/> COMPARACIÓN NUBE <input type="checkbox"/>
RTI VIRTUAL <input checked="" type="checkbox"/>	TRATAMIENTO IMAGEN <input type="checkbox"/> IMPRESIÓN 3D <input checked="" type="checkbox"/>
OTROS:	
SOFTWARES Y PLATAFORMAS ONLINE ADICIONALES	
BLENDER <input checked="" type="checkbox"/>	SKETCHFAB <input checked="" type="checkbox"/> ADOBE PHOTOSHOP <input checked="" type="checkbox"/>
RTIBUILDER <input checked="" type="checkbox"/>	DISTRETCH <input type="checkbox"/> CLOUDCOMPARE <input type="checkbox"/>
ULTIMAKER CURA <input checked="" type="checkbox"/>	
OTROS:	
LINKS/URLS:	
OBSERVACIONES (En caso de existir alguna problemática destacable)	
El modelo se hubo de alinear manualmente. Debido a los problemas derivados de los brillos de la pieza el programa era incapaz de unirlo automáticamente.	

Figura 3.12. Ficha de control usada de forma sistemática para durante la creación de un modelo fotogramétrico.

La ausencia de esta georreferenciación nos impide, por otro lado, conocer las dimensiones y orientación real del modelo. Sin embargo, esto es algo que se puede solucionar de manera manual durante el procesado final del modelo. Para ello, se tomarán algunas medidas de referencia antes o después de la captura de las imágenes.

En nuestro caso particular, dado que cumplimentamos de forma sistemática una ficha de control (fig. 3.12) con datos específicos sobre cada una de las piezas (ver anexos 8.2), preferimos llevar a cabo dichas mediciones previamente a la sesión de fotografía.

La forma de proceder, en este caso, consiste en medir algunas de las partes más características de la pieza real. Esto debe hacerse de forma manual, empleando para ello un pie de rey o cualquier otro instrumento que permita obtener medidas precisas.

Estas zonas deben ser perfectamente identificables, ya que nos servirán de referencia a la hora de escalar el modelo virtual en el *software* fotogramétrico. Para conseguir un escalado con poco margen de error son necesarias, al menos, tres medidas. Sin embargo, nuestra recomendación es tomar un mínimo de cinco, con las que compensar el posible fallo humano.

Otro sistema que suele emplearse para escalar modelos sin coordenadas consiste en colocar un elemento de referencia, una escala, la cual se digitalizará de forma conjunta con la pieza. Sin embargo, la inclusión de este tipo de elementos puede terminar generando fallos durante el procesado posterior del modelo. Por otro lado, resulta del todo inviable en un flujo de trabajo que, como el descrito aquí, incluye la aplicación de máscaras de capas individuales. Por ello, resulta conveniente prescindir de este sistema de escalado.

c) Ajuste de la escena (colocación cámara y pieza)

Una vez tomados todos estos datos, pasamos a colocar los objetos que compondrán nuestra escena. La caja de luz habrá de tener un fondo que contraste perfectamente con el color de nuestra pieza. Se recomienda elegir fondos neutros como el blanco o el negro, evitando en todo lo posible usar cualquier otra tonalidad. Es importante cerciorarse, eso sí, de que la mesa rotatoria que se coloca dentro de ella posea exactamente el mismo color que el fondo de la caja de luz.

Una vez colocados estos dos elementos se sitúa el trípode nivelado, la cámara y el objetivo elegido. Una vez ubicada la pieza a digitalizar en el centro de la mesita rotatoria,

se encuadrará la escena con la cámara. La pieza debe ocupar la mayor superficie posible del sensor de la cámara (el cual puede verse a través del visor, la pantalla LCD del dispositivo fotográfico o por medio de un ordenador adicional). Esto es importante ya que, cuanto más superficie ocupe la pieza, mayor cantidad de píxeles compondrán la imagen y, por ende, mayor calidad tendrá esta. Sin embargo, ya que muchas de estas piezas suelen tener formas irregulares, es recomendable dejar cierto margen que evite que la pieza se salga del al girar la mesa rotatoria o alterar el ángulo y la altura del trípode. Siempre se pueden hacer algunas comprobaciones previas girando la cámara y variando la altura e inclinación del trípode.

En el caso de usar objetivos con distancias focales variables, es necesario ajustar una distancia focal concreta y mantenerla durante todo el proceso de captura de una pieza. Hacer zoom durante la toma de imágenes para encuadrar mejor nuestro objeto puede desencadenar fallos graves en la ejecución de nuestro modelo.



Figura 3.13. Equipo de fotografía e iluminación preparados para llevar a cabo la fotogrametría de laboratorio.

Acto seguido, situaremos los tres dispositivos de alumbrado, preferiblemente que estén dotados de luz blanca. Uno en cada lateral y un tercero (si fuese necesario) en la parte superior de la caja (fig. 3.13).

d) Ajuste de la luz

No todos los objetos a digitalizar se comportarán del mismo modo ante la aplicación de una fuente de luz directa. Por este motivo, se necesita ajustar desde la intensidad y el ángulo de incidencia de los focos a la tonalidad, superficie y forma específica de cada una de las piezas. En términos generales, ha de buscarse que las sombras y brillos queden reducidos al mínimo.

Aunque será en este momento cuando se ajuste la iluminación, siempre es posible hacer leves modificaciones antes de comenzar la toma de fotografías propiamente dicha.

e) Ajuste de la cámara (parámetros)

Como se ha visto, la captura de fotografías en un ambiente controlado supone un alto grado de meticulosidad a la hora de ajustar la escena. Esto es algo que suele relativizarse en un proceso de toma de datos en campo, donde generalmente suele emplearse el modo de disparo automático o semiautomático. La fotogrametría de laboratorio resulta, en este punto, algo más compleja de gestionar.

El paso más delicado es, sin duda alguna, la correcta elección de los parámetros internos del dispositivo fotográfico. Es normalmente por este motivo que suele recomendarse el uso de cámaras *DSLR*, ya que estas permiten manipular los ajustes de disparo con total libertad (fig. 3.14). Son cinco los aspectos que tendremos que ajustar:

- Flash

El flash debe estar desactivado para evitar brillos innecesarios. Dado que se aplica una fuente de luz externa, este no resultará necesario.

- Formato de salida

El primer parámetro dependerá en gran medida del propósito y las dimensiones de del proyecto. Siempre es preferible elegir el formato *raw* (.cr2), una especie de negativo digital que lleva aplicada una compresión de datos, pero sin pérdida de información. Si bien es cierto que permiten un amplio grado de edición sin pérdida real de calidad, este tipo de archivos son costosos de almacenar y obligan a un revelado posterior en formatos compatibles con nuestros *softwares* (Rodríguez et al. 2019: 3). De esta forma en proyectos que implican la digitalización de un gran volumen de material patrimonial, suele elegirse un formato de salida algo más ligero como es el caso del *Joint Photographic Experts Group* (.jpeg / .jpg). La elección de los otros parámetros descritos resultará algo más compleja.

- Apertura del diafragma

Con el objetivo de que toda la superficie de la pieza quede perfectamente enfocada, es esencial trabajar con aperturas de diafragma reducidas que permitan conseguir una gran amplitud de campo. Contradictoriamente, se debe evitar también cerrar excesivamente el obturador, ya que los valores superiores a $f/22$ suelen generar difracción en las imágenes, lo que puede suponer problemas durante el renderizado. Por norma general se suelen emplear valores comprendidos entre $f/16$ y $f/22$. Un obturador cerrado implica, no obstante, una escasa luminosidad de nuestra escena.

- Sensibilidad ISO

Por otro lado, la escala de sensibilidad fotográfica ISO se ha de reducir lo máximo posible. Una sensibilidad ISO alta aumenta la luminosidad de nuestra escena, pero genera una gran cantidad de ruido. El ruido es una aberración aleatoria del brillo y el color de nuestra imagen que puede entorpecer el procesado de los modelos tridimensionales. Suelen indicarse umbrales no superiores a 800 para conseguir una escena sin apenas ruido, pero para la producción de los modelos adjuntos en esta tesis nunca se ha elevado más de 200.

- Velocidad de obturación

Para corregir esto queda el último de los parámetros, el tiempo de exposición. Este será el elemento bisagra que permita terminar de ajustar la escena con la luz adecuada. A grandes rasgos, un tiempo de exposición elevado implica mayor luminosidad, pero se corre el riesgo de que la menor vibración perjudique la nitidez de nuestra fotografía. Con un obturador cerrado y una sensibilidad ISO tan baja (100 o 200) es obligatorio emplear tiempos de exposición bastante altos. Sin embargo, con trípode, y usualmente disparador, se puede incrementar el tiempo de exposición lo necesario para que la fotografía no quede subexpuesta.

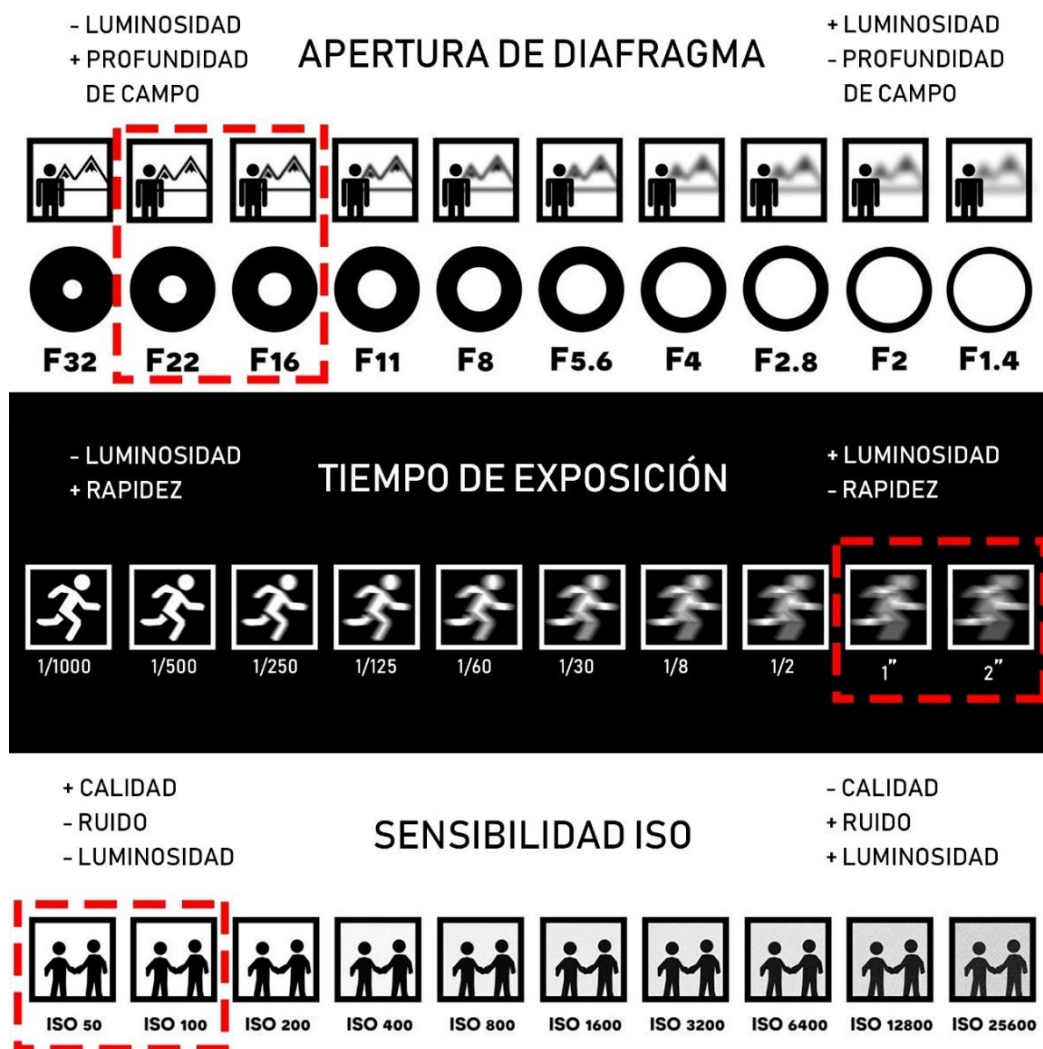


Figura 3.14. Valores de ajuste medios recomendados para la captura de un modelo fotogramétrico en laboratorio.

Una vez fijados los parámetros adecuados (fig. 3.14), se recomienda realizar varias pruebas y comprobar con detenimiento que la imagen cumple con los requisitos necesarios ya que estos parámetros, al igual que la distancia focal, no podrán modificarse durante el proceso de captura. Cualquier fallo de calibrado implicará, por tanto, reiniciar todo el proceso.

f) Estrategia de captura de datos

Con nuestra pieza perfectamente iluminada, encuadrada y los valores de nuestro disparo perfectamente ajustados, se puede iniciar la toma de fotografías. Es recomendable ejecutar un primer disparo incluyendo un *colorchecker*, una carta con un patrón de colores que permitirá calibrar tanto la exposición como los tonos de las imágenes. De esta forma, se consigue que la coloración del modelo sea perfectamente veraz (Pereira, 2013a: 57, 2019: 65). Una vez tomada esta primera fotografía, la cual servirá de referencia, se retira la carta de color y se inicia el proceso de escaneado propiamente dicho.

FOTOGRAFÍA 1

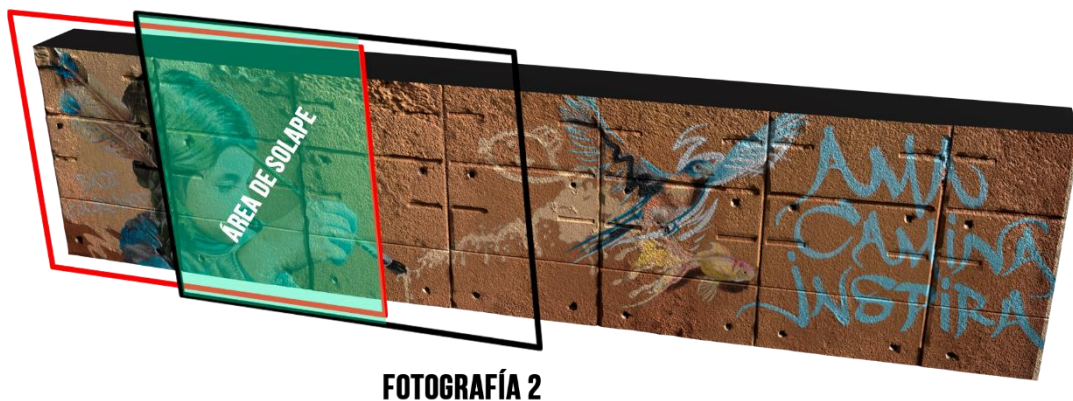


Figura 3.15. El solape entre fotografías resulta esencial para la elaboración de un modelo tridimensional. El montaje se realizó sobre el modelo 3D de un grafiti de la ciudad de Granada.

Si hay alguna realidad inevitable en fotogrametría esta es la necesidad de solapamiento entre imágenes (fig. 3.15). La repetición de una misma zona en varias fotografías

permitirá a los algoritmos del *software* extraer puntos en común y reconstruir tridimensionalmente el objeto. Aunque las nuevas versiones de *software* fotogramétricos como Agisoft Photoscan tienen un mayor margen de tolerancia, se recomienda aplicar un solapamiento mínimo de un 80% en el sentido longitudinal y del 50% en el transversal (Benavides, 2017: 122). Del mismo modo, es recomendable no modificar el tamaño ni la rotación de las fotografías de un mismo modelo (Tumeliene *et al.*, 2017: 74). Siguiendo esta dinámica aparentemente sencilla, las estrategias de adquisición de datos pueden adecuarse a la configuración propia de cada elemento. Se suelen realizar barridos a diferentes alturas e inclinación siguiendo el contorno del objeto o estructura que se quiere digitalizar. Esto es así, al menos, en fotogrametría de campo o exterior, donde es la cámara la que se desplaza en torno al objeto y no al contrario.



Figura 3.16. Sistema de alturas y grados de inclinación de cada uno de los círculos que componen un escaneo fotogramétrico estándar.

Sin embargo, en laboratorio la situación cambia. La cámara permanece en una posición fija y es el objeto el que va girando gracias al soporte giratorio. El trazado de los barridos es, por tanto, un círculo uniforme y solo varía la altura y el ángulo de inclinación de la cámara. Dado que los objetos trabajados son generalmente de bulto redondo y que alguna de sus partes apoya sobre la plataforma rotatoria, y por tanto queda fuera de la captura, será necesario voltear el objeto al menos una vez por cada altura. Solo así, todas las partes de la pieza se reconstruirán correctamente.

El sistema de captura empleado para el material de esta tesis se reduce, por tanto, a la siguiente dinámica. Se ejecutan seis círculos de fotografías agrupados en tres alturas diferentes que se ajustan con el trípode. El rango de subida entre estos tres niveles dependerá de la morfometría de la propia pieza (fig. 3.16). Por norma general, en aquellas piezas más planas es recomendable realizar subidas mucho más leves. Antes de cambiar a un nuevo nivel de elevación, como ya se indicaba, es preciso voltear la pieza 180 ° en sentido horizontal. Recordando siempre que esta debe ser devuelta a su posición inicial cuando se modifique nuevamente la altura. Con el fin de evitar confusiones durante el proceso, es fundamental elegir una parte característica de la pieza. Será desde este punto donde se iniciarán, de forma sistemática, cada uno de estos seis círculos. En términos generales suelen realizarse unas ocho o diez fotografías por círculo. El total es, por tanto, de unas 48-60 imágenes por modelo, pudiéndose ampliar este rango en el caso de piezas muy pequeñas, planas o con demasiado detalle geométrico.

g) La gestión de los datos. El sistema de carpetas

Una vez finalizada la sesión de disparo, es esencial vaciar la información almacenada y gestionarla de forma adecuada. Para ello se ha diseñado un sistema de carpetas digitales que permite ordenar todos y cada uno de los archivos que compondrán el futuro proyecto fotogramétrico (fig. 3.17). Un proyecto fotogramétrico final, con todos sus postprocesos, está compuesto por una enorme cantidad de archivos y formatos. Muchos de estos formatos están compuestos, a su vez, por varios archivos inseparables.

De ahí que resulte tan importante que cada pieza vaya perfectamente fraccionada, ordenada y numerada para evitar así una posible pérdida de datos.

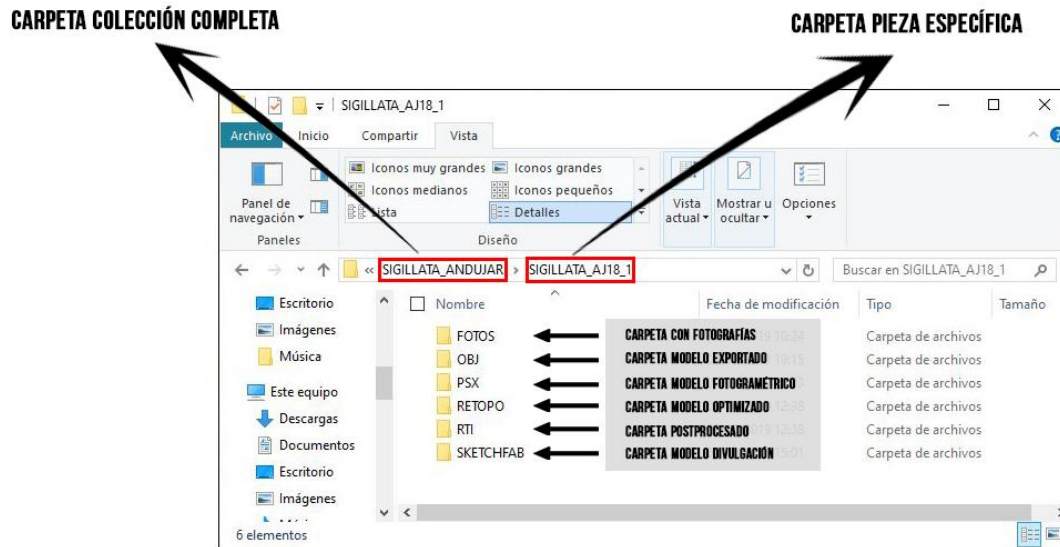


Figura 3.17. Desglose del sistema de carpetas empleado para gestionar todos los archivos complementarios a los modelos fotogramétrico incluidos en la presente tesis doctoral.

2) *Procesado del modelo 3D*

$$R = \frac{L_s \times D}{c \times L}, \quad (1)$$

$$P = 3 \times R, \quad (2)$$

where

- c = focal length of the camera (mm)
- L_s = the greater size of the sensor (mm)
- D = the distance between the camera and the subject (m)
- L = the greater size of the photograph (in Pixel)
- R = the spatial ground resolution of the photos in (m/Pixel)
- P = the precision of spatial positioning of the vertices of the 3D mesh.

Figura 3.18. Fórmula para calcular la precisión esperada de un modelo 3D a partir de la calidad de las fotos que se emplean para construirlo (Tumeliene *et al.*, 2017: 73).

En el paso anterior se ha insistido en la necesidad de obtener fotografías de calidad. Realmente son muchos los factores a tener en cuenta para ello, sin embargo, es fundamental entender que la calidad de un modelo fotogramétrico es directamente proporcional a la calidad de las fotografías que se usan (fig. 3.10). De hecho, esta relación y la calidad final de un modelo fotogramétrico puede ser calculada y expresada a través de fórmula matemática (fig. 3.18). Como se verá, la parametrización de los *softwares* específicos para dicha tarea, además de simple, determinará mínimamente el resultado final.

a) La selección y el filtrado de imágenes

Como se ha visto, la calidad de las fotografías es esencial. El proceso de captura no resulta del todo infalible y, en ocasiones, es fácil encontrarse con imágenes que no cumplen los requisitos de calidad necesarios. Por este motivo es recomendable previsualizar el trabajo antes de importarlo al *software* que vayamos a utilizar para la creación de ese modelo 3D en concreto. De esta forma, se podrán eliminar aquellas fotografías que presenten errores.

b) Creación de máscaras de capa

Esta es, sin duda, una de las principales diferencias con respecto a la fotogrametría de campo donde, en la mayoría de los casos, resulta inviable o innecesaria la aplicación de máscaras de capa individuales (fig. 3.19). El procedimiento consiste en la eliminación de todos aquellos elementos de la fotografía que no queremos que aparezcan en nuestro modelo 3D. Aunque es cierto que tanto Agisoft Metashape (Agisoft LLC, 2006: en línea) como Reality Capture (Reality, 2016: en línea) presentan herramientas de borrado que permiten llevar a cabo un filtrado manual de aquellas partes sobrantes sobre el propio modelo tridimensional, hacerlo directamente sobre nuestras imágenes aporta algunos beneficios interesantes. Ahorra tiempo de renderizado y genera modelos mucho más limpios y de mayor calidad.

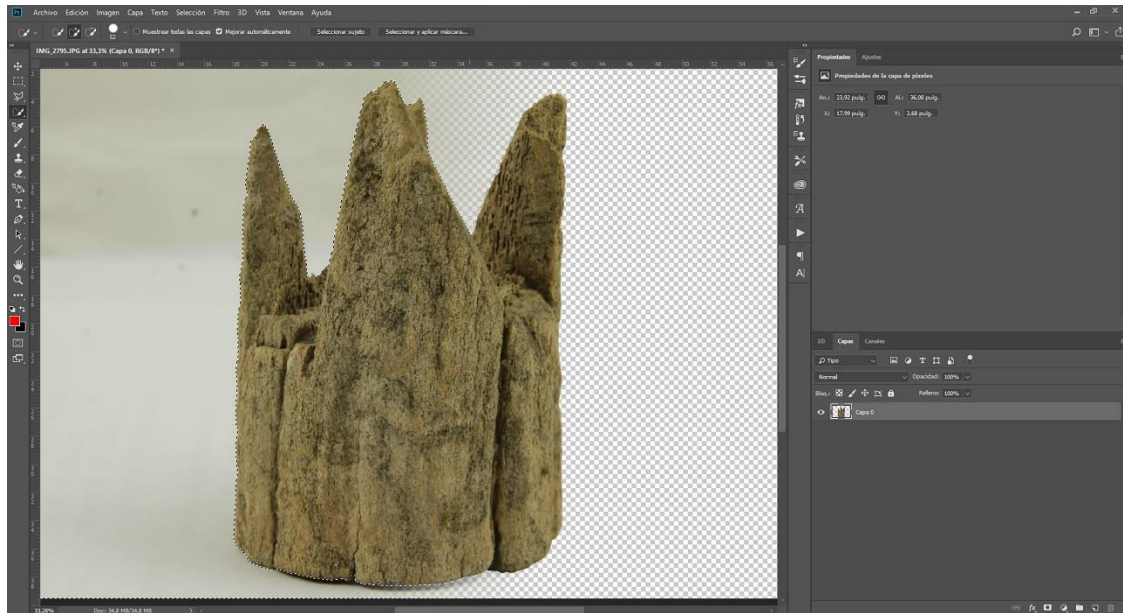


Figura 3.19. Montaje sobre una de las fotografías de una tricotera de hueso tallado (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117) localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada). En él se aprecia un degradado entre la parte de la máscara de capa (derecha) y la parte con el fondo original (izquierda).

En otras palabras, crear una máscara de capa consiste en eliminar herramientas de edición fotográfica como GIMP (Mattis y Kimbal, 1995: en línea) o Adobe Photoshop (Adobe, 1990: en línea) el fondo de nuestra fotografía. Es una tarea que requiere de cierta inversión de tiempo, ya que habremos de aplicar estas máscaras sobre cada una de las fotografías que componen nuestro modelo. Sin embargo, existen mecanismos como la inclusión de un fondo homogéneo que contraste con nuestro objeto o la creación de acciones en el editor fotográfico, que permiten semiautomatizar y agilizar este proceso. La idea es crear un fondo transparente que guardaremos en formato .png.

Una vez creadas nuestras máscaras y pertinentemente almacenadas en una carpeta creada *ad hoc*, cargaremos los archivos .png en nuestro *software* fotogramétrico. En el caso concreto de Agisoft Metashape, el programa que emplearemos para ilustrar la explicación, tras importarlas es necesario aplicar las máscaras para que estas surtan efecto.

c) Alineamiento de las fotografías. La nube de puntos discreta

Como se ha visto, una vez creadas las máscaras de capa de cada una de las fotografías que componen el modelo, estas deben ser importadas al *software* y activadas si fuese necesario. Por regla general, dado que estos objetos de pequeño y mediano tamaño los integran muy pocas fotografías, es preferible trabajar con un solo bloque o “*chunk*” de fotografías y reconstruir el modelo de forma integral. Habrá, no obstante, algunos casos en los que la complejidad de la pieza obligue a dividirla en varios de estos bloques de fotografías. Estos podrán ser procesados por separado y unidos posteriormente.

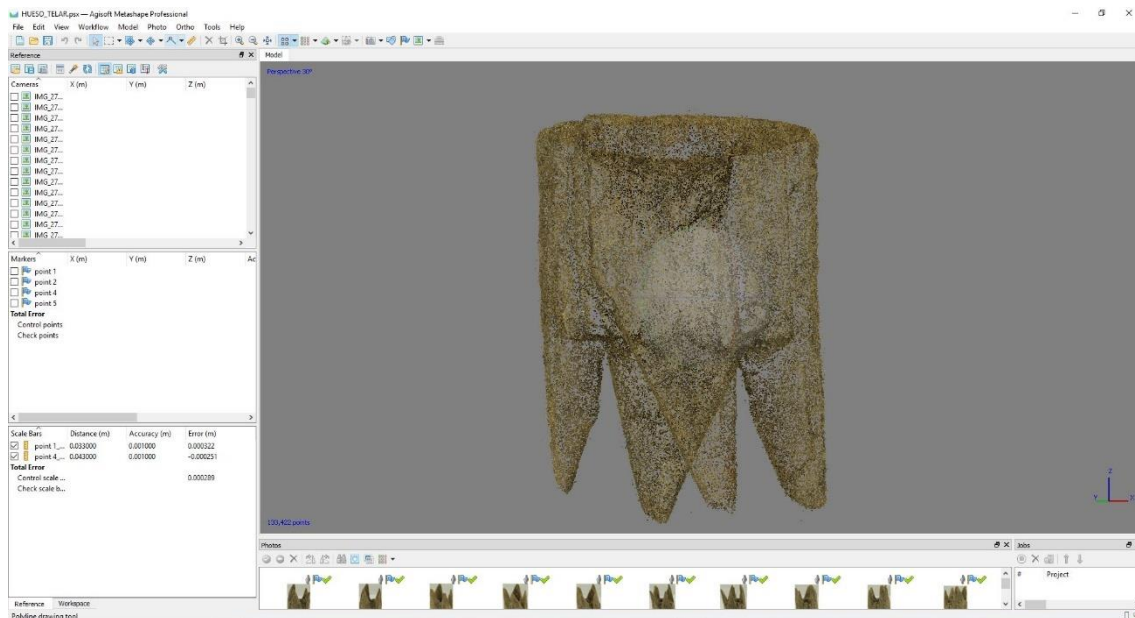


Figura 3.20. Nube de puntos ligera, obtenida en Agisoft Photoscan, de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).

Una vez hecho esto, ya es posible iniciar el alineamiento de las imágenes. Este proceso conocido como *Bundle Adjustment* (Triggs *et al.*, 2000: 298; Wu *et al.*, 2011: 3059-3062; Corsini *et al.*, 2013: 96-97; Schönberger y Frahm, 2016: 4108; Cefalu *et al.*, 2017: 536-540), se encuentra totalmente automatizado gracias a la incorporación de algoritmos como el *Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)* anteriormente mencionado (Lowe, 1999: 1052-1056; Lowe, 2004: 93-108). A grandes rasgos, alinear las fotografías nos permite extraer puntos homólogos detectados entre pares de imágenes y determinar así la posición y orientación relativa que tiene cada una de las cámaras con respecto al

resto (El-Habrouk *et al.*,1996: 61-63; Kersten y Lindstaedt, 2012: 728-738; Benavides, 2017: 128).

El resultado de todo este proceso es lo que se conoce como nube de puntos dispersa (fig. 3.20), cuya densidad dependerá en gran medida de la cantidad de puntos en común que haya detectado el programa. Esta nube de puntos ligera o dispersa proporciona ya un esbozo del volumen y la forma del objeto. De forma opcional, algunos programas como Agisoft Metashape permiten filtrar esta nube de puntos discreta de forma gradual e ir eliminando así los puntos reconstruidos por error o sin suficiente precisión. Filtrando los puntos innecesarios se puede acelerar y mejorar la definición de nuestro modelo final.

d) Creación de la nube de puntos densa

Algo que no se ha comentado hasta ahora, es que existen algunos programas que, como Agisoft Metashape o Reality Capture, permiten ajustar el grado de precisión o la calidad que se quiere aplicar durante cada una de las fases de un proyecto fotogramétrico.

Por lo general se suele pensar que generar modelos con la mayor calidad posible es siempre la mejor opción. Sin embargo, a veces puede resultar contraproducente, ya que cuanto mayor precisión exijamos a nuestro *software* mayor será el tiempo de renderizado y más pesado será el objeto final. En nuestro caso, esto repercute inevitablemente en los procesos de manipulación posteriores y supone, en muchos casos, lidiar con objetos digitales inmanejables. A ello se añade, de nuevo, la simple pero importantísima variable del tiempo. Por este motivo, en determinadas ocasiones se habrá de priorizar la creación de modelos de calidad intermedia, con tiempos de procesado menores y perfectamente manejables en *software* de postprocesado como Blender®.

Con todos estos factores en cuenta, el siguiente paso consiste en densificar la nube de puntos dispersa o ligera. El programa multiplica el número de puntos de la nube inicial hasta crear una masa volumétrica donde se aprecia ya la forma y geometría de la réplica digital (fig. 3.21).

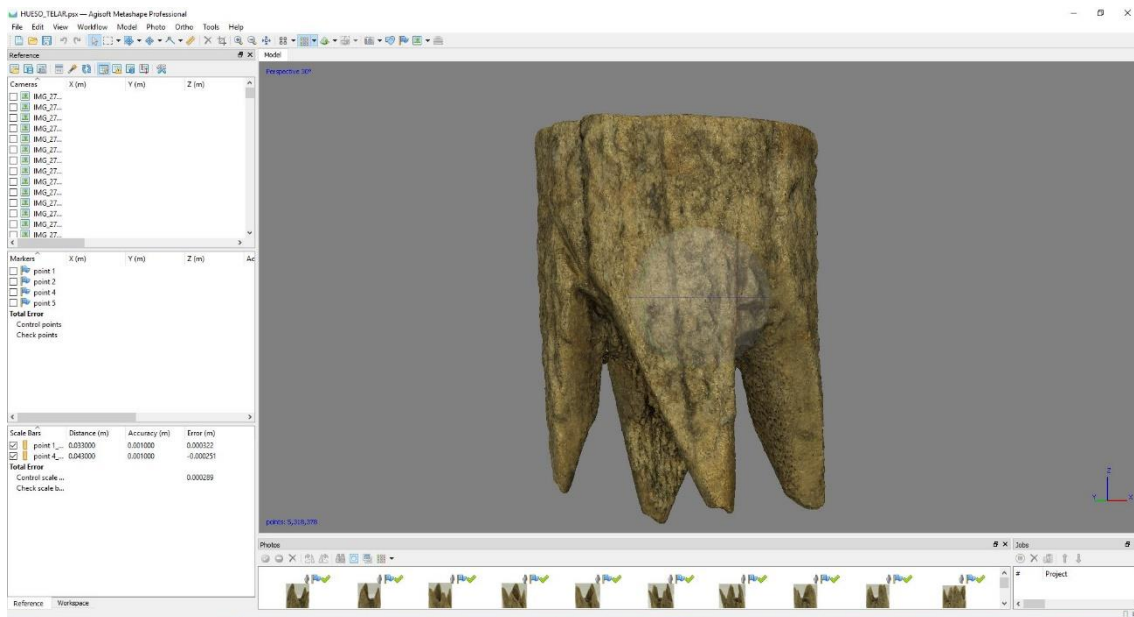


Figura 3.21. Nube de puntos densa, obtenida en Agisoft Photoscan, de la tricoteria de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).

e) Construcción de la malla 3D

A pesar de que la densidad de algunos modelos fotogramétricos los hace parecer objetos cerrados (fig. 3.21), estos siguen siendo solo puntos sin una superficie sólida virtualmente hablando. Para consolidar un soporte real sobre el que poder llevar a cabo muchos de los procedimientos posteriores, es necesario cerrar el modelo mediante la aplicación de una malla geométrica. (fig. 3.22). Para la creación de esta malla digital los *softwares* fotogramétricos utilizan algoritmos como el “*marching cubes*” (Custodio *et al.*, 2019. 1-6; Guennebaud y Gross, 2007: 2-21) o el “*Poisson reconstruction*” (Kazhdan y Hoppe, 2013: 2-11).

Estos se encargan de ir uniendo los puntos de la nube densa y crear así caras geométricas (Dey, 2018: 19). El resultado es una superficie denominada *Triangulated Irregular Network* (TIN) (Bhargava *et al.*, 2013: 173; Floriani y Magillo, 2009: 3178; Peucker *et al.*,

1978: 56) que se consigue uniendo a través de formas geométricas triangulares las ternas de puntos cercanos no colineales de la nube de puntos densa⁸.

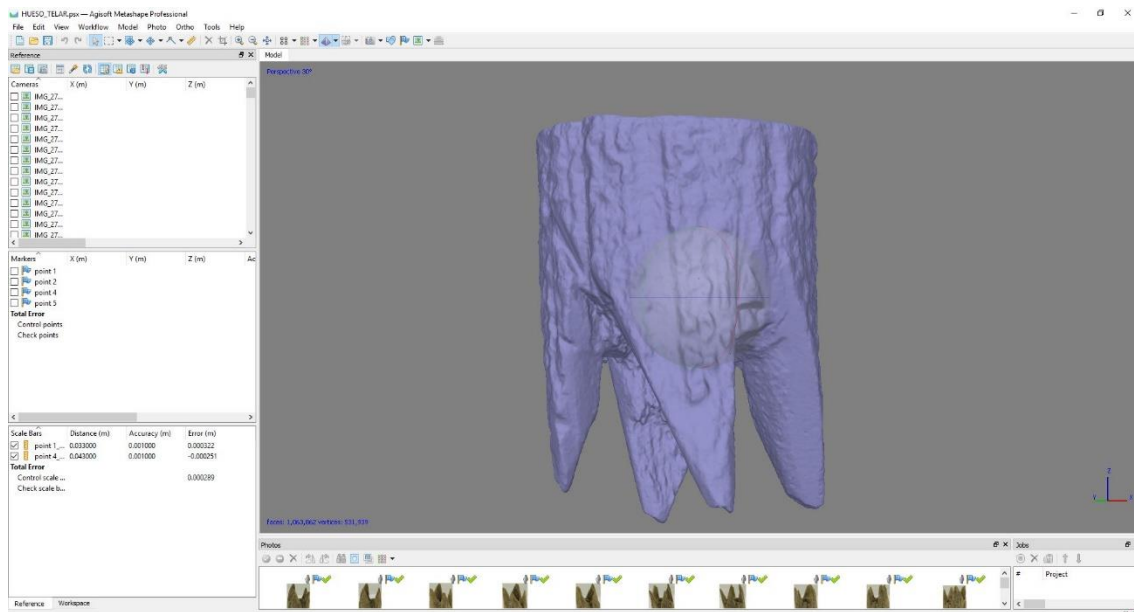


Figura 3.22. Malla digital, obtenida en Agisoft Photoscan, de la tricotera de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).

f) Aplicación de texturas realistas

A diferencia de otros métodos como el láser escáner 3D, una de las principales cualidades de la fotogrametría es su capacidad para recoger información relativa al color o la textura (fig. 3.23). Es precisamente por esto que se erige como una de técnicas de documentación del patrimonio más utilizadas. Este tipo de información aporta al arqueólogo datos de especial relevancia para el análisis del contexto arqueológico (Pereira, 2013a: 60) y, como se verá, permite llevar a cabo diversos tratamientos de imagen.

La fotogrametría, y más concretamente los *softwares* fotogramétricos, permiten generar mapas de texturas totalmente realistas y precisas que pueden ser aplicadas sobre la malla *Triangulated Irregular Network* que resultaba del paso anterior.

⁸ Algunos softwares como Agisoft Metashape también disponen de la opción de generar la malla a partir de la nube de puntos dispersa.

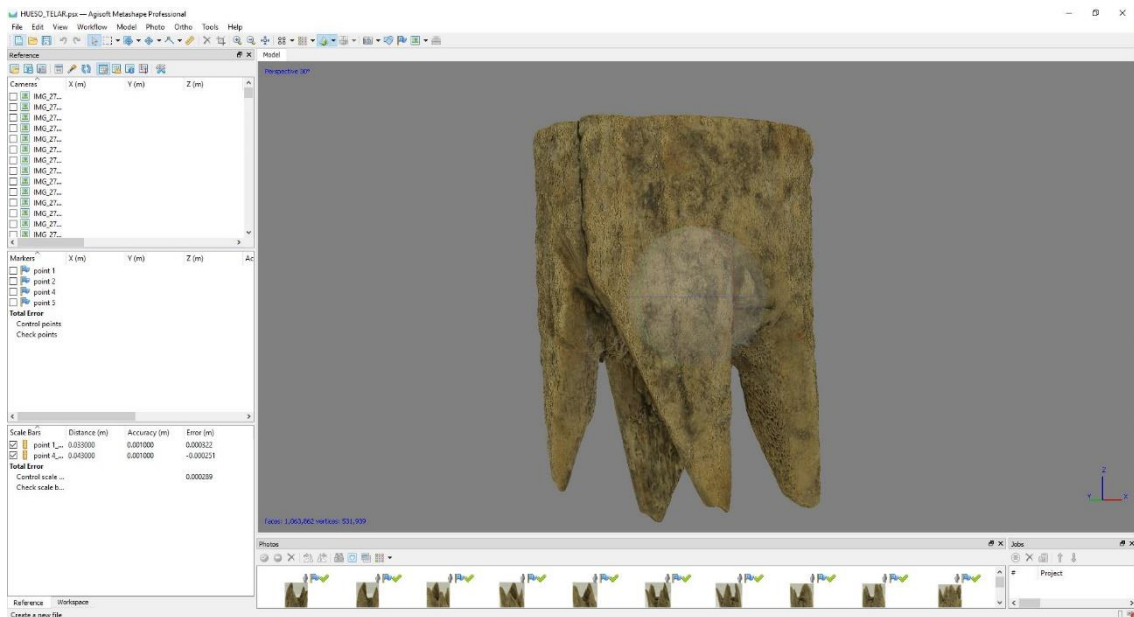


Figura 3.23. Modelo ya texturizado, obtenido en Agisoft Photoscan, de la tricoteria de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).

g) Escalado y orientación

Al generar el mapa de textura, el grueso del modelo digital queda prácticamente listo. Por ello, el siguiente paso consiste en el escalado y la orientación manual de la pieza. Este procedimiento se solventa de forma casi automática al trabajar con modelos con incluyen coordenadas georreferenciadas. Algo perfectamente aplicable en, por ejemplo, modelos generados a partir de dron o en edificios, pero resulta inviable en piezas de tamaño reducido.

Al carecer de coordenadas georreferenciadas, la escala y posición en los ejes cartesianos X, Y, Z de estas réplicas fotogramétricas son incorrectas. Es por ello, que la orientación debe ajustarse de forma manual a partir de las herramientas de alineado que incorporan algunos de estos *softwares*.

En el caso del escalado, la forma de proceder consiste en añadir una serie de marcadores en partes del modelo 3D que puedan relacionarse posteriormente con medidas obtenidas del objeto real y las cuales hemos recogido de forma previa en nuestra ficha de control (fig. 3.12).

h) La exportación de los resultados

Los programas fotogramétricos como Agisoft Metashape permiten aplicar procedimientos adicionales. En primer lugar, es posible obtener Modelos Digitales de Elevaciones a partir de la malla sin texturizar, o bien de la propia nube densa. Como se analizará en un apartado posterior, estas herramientas pueden resultar muy útiles a la hora de resaltar determinados rasgos de un objeto.



Figura 3.24. Ortofotografía obtenida a partir del modelo fotogramétrico final del sector 2 de la excavación llevada a cabo en los Villares de Andújar (Jaén), durante la campaña 2018. Fotos realizadas por Manuel Moreno Alcaide, modelo fotogramétrico de elaboración propia.

En segundo lugar, a partir del modelo 3D se puede extraer lo que se conoce como ortofotografía, un tipo de representación fotográfica donde todos los elementos de la escena están a la misma escala y cualquier error y deformación óptica ha sido corregida. La ortofotografía se consigue proyectando de forma paralela las imágenes fotográficas sobre el modelo tridimensional. Esto permite, entre otras cosas, realizar mediciones precisas sobre un formato bidimensional. A pesar de que son perfectamente aplicables

en el material de pequeño y mediano tamaño, este tipo de representaciones son mucho más útiles a la hora de documentar una excavación arqueológica (fig. 3.24), estructuras arquitectónicas o áreas de gran tamaño.

El último paso del proceso fotogramétrico propiamente dicho consiste en exportar el modelo tridimensional a formatos más universales, compatibles con otros programas que nos permitan aplicar procedimientos adicionales. Es recomendable usar para ello, formatos como *Wavefront 3D Object File (.obj)*, o bien *Stanford Triangle Format (.ply)* o *Standard Template Library (.stl)* si no se quiere incluir información relativa al color o la textura. Estos dos últimos son apropiados si se desea realizar una impresión 3D, pero en la mayoría de los casos se usarán formatos tipo *Wavefront*, ya que no es conveniente prescindir de ningún tipo información.

3.3.2.2 Flujo de trabajo 2. Fotogrametría de Campo a pequeña escala

El flujo de trabajo descrito anteriormente puede resultar inviable para piezas fijas y de mediano tamaño. Como piezas de mediano tamaño se entienden todos aquellos elementos, generalmente no muebles, cuya disposición o dimensiones impiden su correcta manipulación: estatuas de gran tamaño, frisos o relieves situados en paredes, elementos decorativos fijados a composición monumentales mayores, etc. Se incluirán además todos aquellos objetos que, a pesar de no incluirse en dichas especificaciones, no pueden ser manipulados por diversos motivos (acceso restringido, peligro de deterioro, etc.).

En estos casos, es recomendable emplear un flujo metodológico mucho más parecido al que se utiliza en la documentación arqueológica de campo, pero obviando los temas relativos a la georreferenciación del modelo. Este proceso, aplicado en menor medida durante la tesis, es un paso intermedio entre la fotogrametría de laboratorio y la digitalización en campo. El procedimiento es muy similar al aplicado sobre objetos de pequeño tamaño, aunque presenta algunas diferencias sustanciales que conviene analizar. Por un lado, no se controlan las condiciones lumínicas, sino que hay que adaptarse a ellas. Por otro lado, al ser un elemento fijo y que, por tanto, no se puede

manipular, será la persona la que se desplace a su alrededor para obtener las imágenes. Pero, ¿Qué implica esto?

El procesado del modelo tridimensional es prácticamente idéntico, sin embargo, durante la captura de las fotografías es importante tener en cuenta una serie de aspectos adicionales:

- 1)** Los ajustes de disparo de la cámara se seleccionarán de forma automática o, preferiblemente, semiautomática. Al no disponer de iluminación controlada (o disponer de ella de forma parcial) y eventualmente tampoco de trípode, resultará muy complicado mantener los valores adecuados que se especificaban en el primer flujo de trabajo (fig. 3.14). Por este motivo, es recomendable seleccionar el modo de disparo automático o semi-automático priorizando, en todo lo posible, la profundidad de campo (Av/A).
- 2)** La estrategia de captura también variará y será necesario adaptarnos, en este caso, a la forma del elemento que se quiere digitalizar. Aunque hay que poner atención en el encuadre y el solape, este podrá ser menos riguroso. En este caso ya no es necesario capturar todo el objeto en cada imagen, como sí ocurría en el caso anterior. De esta forma, siempre y cuando las partes que no se incluyan sean capturadas en otras fotografías y éstas contengan un porcentaje aceptable de solape, no habrá problema en modelo final.
- 3)** En todo lo posible, dado que habitualmente no se trabajará con fondos homogéneos y la creación de máscaras será muy compleja, se tratará de no capturar elementos de la escena que no formen parte de la pieza.

3.3.3 Comparando *Softwares* Agisoft Metashape y Reality Capture

En otro orden de cosas, para la elaboración de la parte práctica de esta tesis doctoral se han empleado dos *softwares* principalmente. Por un lado, el *software* de procedencia rusa Agisoft Photoscan, que pasa a denominarse Agisoft Metashape tras su última

versión⁹. Junto a él, se empleó en menor medida Reality Capture, un programa fotogramétrico de origen eslovaco. El amplio desarrollo que ha sufrido esta técnica en los últimos años ha motivado, no obstante, que exista en el mercado una oferta mucho más amplia de programas de este tipo: 3DF Zephyr[®] (3DFlow, 2014: en línea), 123D Catch[®] (Autodesk, 2009: en línea), Visual SFM[®] (Changchang, 2013: en línea), Colmap[®] (Schönberger, 2018: en línea), Autodesk ReCap Pro[®] (Autodesk, 2013: en línea), ContextCapture[®] (Bentley, 2015: en línea) , Inpho[®] (Trimble, 2016: en línea), Pix4Dmapper[®] (Pix4D, 2011: en línea), por mencionar solo algunos. Sin embargo, la capacidad de procesamiento, las características internas y la calidad de los resultados que aportan tanto Photoscan como Reality Capture los convierten en los dos *softwares* más completos que existen actualmente.

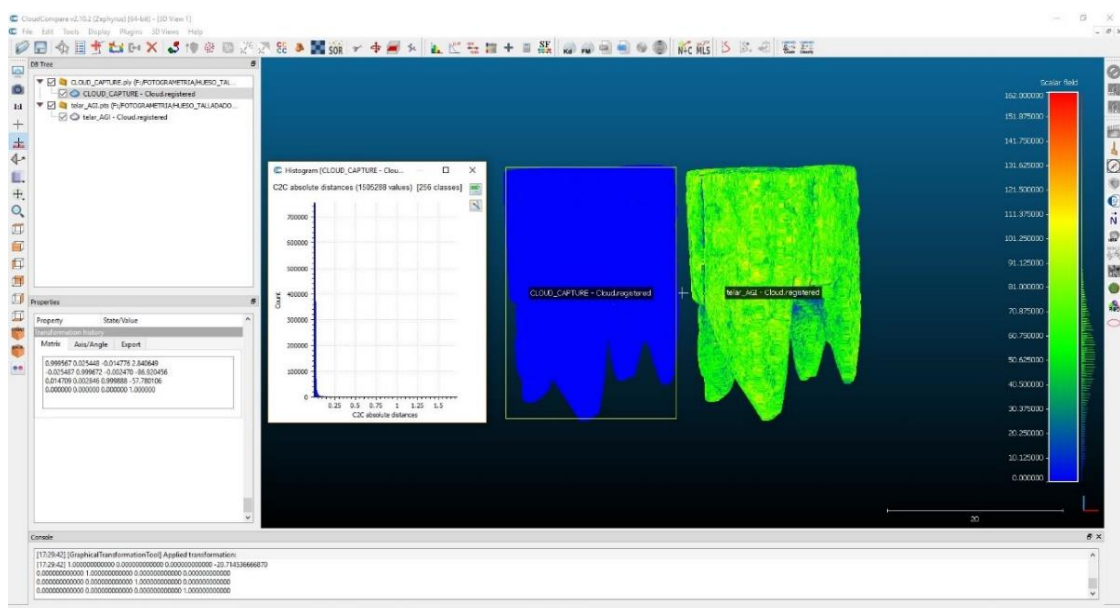


Figura 3.25. Comparativa de nubes de puntos llevada a cabo en CloudCompare sobre modelos fotogramétricos realizados en los dos programas principales empleados durante la confección de la tesis. Tras la comparación apenas se apreciaba diferencia entre las nubes de puntos obtenidas en ambos *softwares*. El color azul uniforme en el modelo de la izquierda indica la proximidad, y por tanto semejanza, entre la nube de puntos de Reality Capture y el modelo de puntos de Agisoft (derecha). El modelo fotogramétrico usado como ejemplo, es el de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes de Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).

⁹ Para la elaboración de gran parte de los modelos presentados en esta tesis hemos usado la versión anterior a Metashape, Agisoft Photoscan 1.4.0. ya que las nuevas versiones de Metashape están especialmente enfocadas para el trabajo con drones y presentan aún cierta inestabilidad en su funcionamiento.

Agisoft Metashape es, a día de hoy, el programa fotogramétrico más utilizado a nivel internacional. En los últimos años han empleado y emplean este *software* por su potencia, capacidad de ajustes internos y por su sencilla interfaz. No obstante, Reality Capture es una interesante alternativa a la hora de digitalizar elementos patrimoniales de pequeño y mediano tamaño (fig. 3.25). Entre sus principales ventajas destacan la calidad de las mallas digitales que genera. Con el mismo número de fotografías que Agisoft Metashape, este *software* es capaz de producir modelos geoméricamente mucho más precisos. Obviamente, esto implica archivos mucho más pesados. Por otro lado, los algoritmos internos que permiten el ajuste *Bundle*, extraen modelos mucho más limpios que en el caso de Agisoft Metashape (Triggs et al., 2000: 299). En ocasiones, es posible incluso obviar la aplicación de las máscaras de capa.

Por el contrario, el tiempo de renderizado y, sobre todo, los recursos de *hardware* que emplea Reality Capture nos parecen excesivamente altos. A esto debemos sumar que los modelos generados mediante este *software*, si bien presentan una altísima calidad geométrica, resultan muy pesados y poco prácticos a la hora de aplicarles herramientas de post-procesado. Es cierto que, en la mayoría de los casos, aplicar un flujo de trabajo de retopología puede solventar este tipo de problema. Sin embargo, esto implica un importante gasto de tiempo que no siempre podemos afrontar. En cuanto a la calidad de la textura, Reality Capture se ve levemente superado por Agisoft Metashape. Los modelos generados con este último presentan una mayor definición y un despliegue del mapa UV algo más lógico (fig. 3.26). No obstante, la diferencia apenas es significativa para usarla como elemento discriminatorio válido.

En términos generales, Agisoft Metashape resulta más práctico a la hora de digitalizar grandes colecciones con fines meramente divulgativos, ya que permite ajustar una calidad más reducida a los modelos digitales. Este hecho permite reducir el tiempo de procesado, postprocesado y, por consiguiente, supone un importante ahorro de tiempo. Asimismo, la producción de Modelos Digitales de Elevaciones o DEM, a partir de modelos fotogramétricos, se adapta mucho mejor a las características del patrimonio

de pequeño y mediano tamaño (figs. 76, 77 y78). No obstante, este será un campo que analizaremos más en profundidad en próximos apartados. Por otro lado, para trabajos de análisis digital en los que se han de emplear mallas más precisas, Reality Capture parece convertirse en la mejor opción.

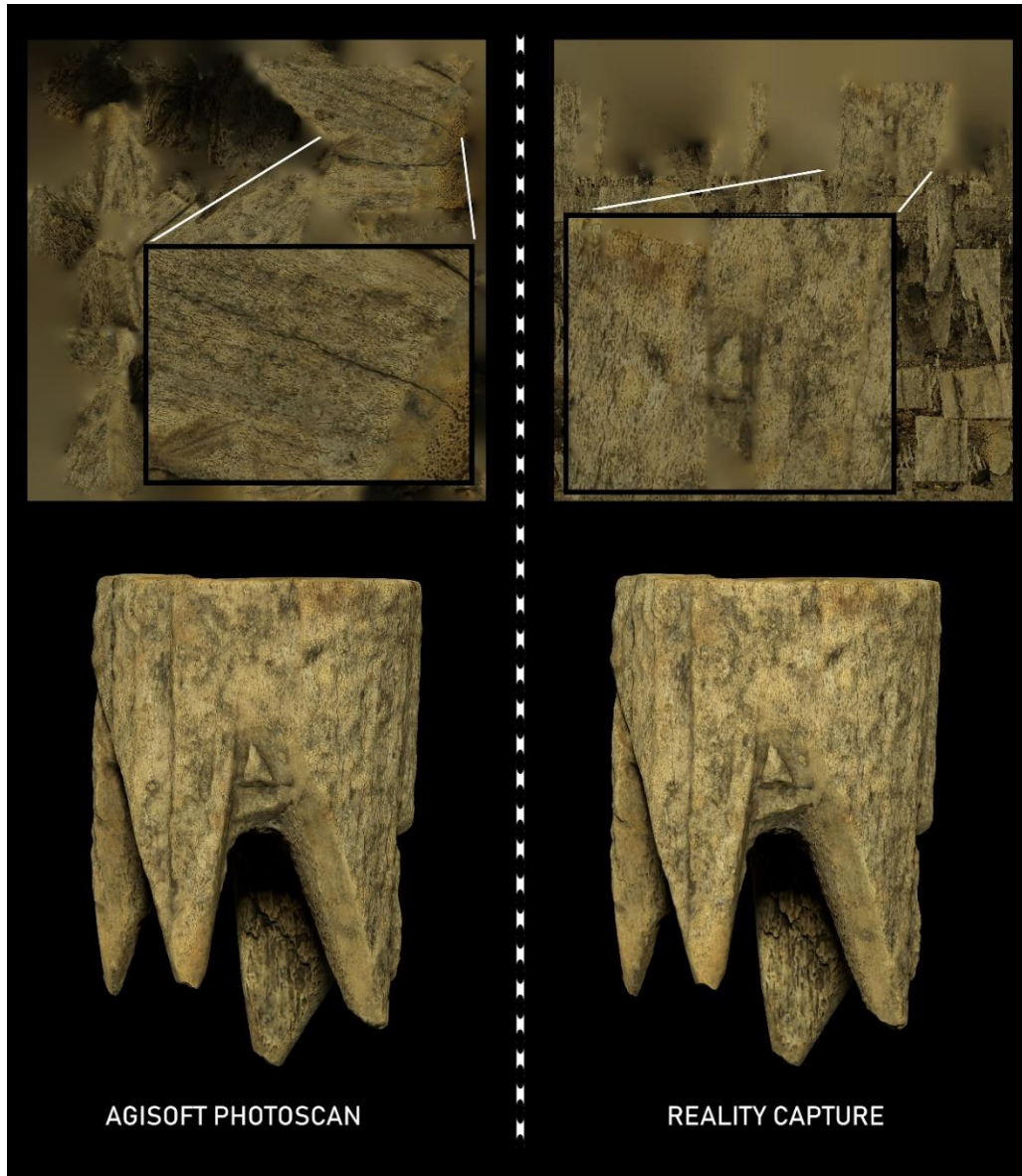


Figura 3.26. Comparativa de texturas de los modelos fotogramétricos realizados en los dos programas principales empleados durante la confección de la tesis. Tras la comparación se aprecia cierta superioridad de la textura generada por Agisoft Photoscan. El modelo fotogramétrico usado como ejemplo, es el de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes de Pinos Punte, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).

Por tanto, cada uno de estos *softwares* presenta características interesantes, en especial de cara al patrimonio de pequeño y mediano tamaño. Por ello, resulta idóneo

incorporarlos de forma conjunta en un único flujo de trabajo. Dado que los proyectos de ambos programas (.psx/.psz / .rcproj) pueden ser exportados a un formato más universal como *Wavefront 3D Object File* (.obj), es posible combinar los beneficios de cada uno de ellos de forma posterior.

3.3.4 Las limitaciones de la Fotogrametría SfM

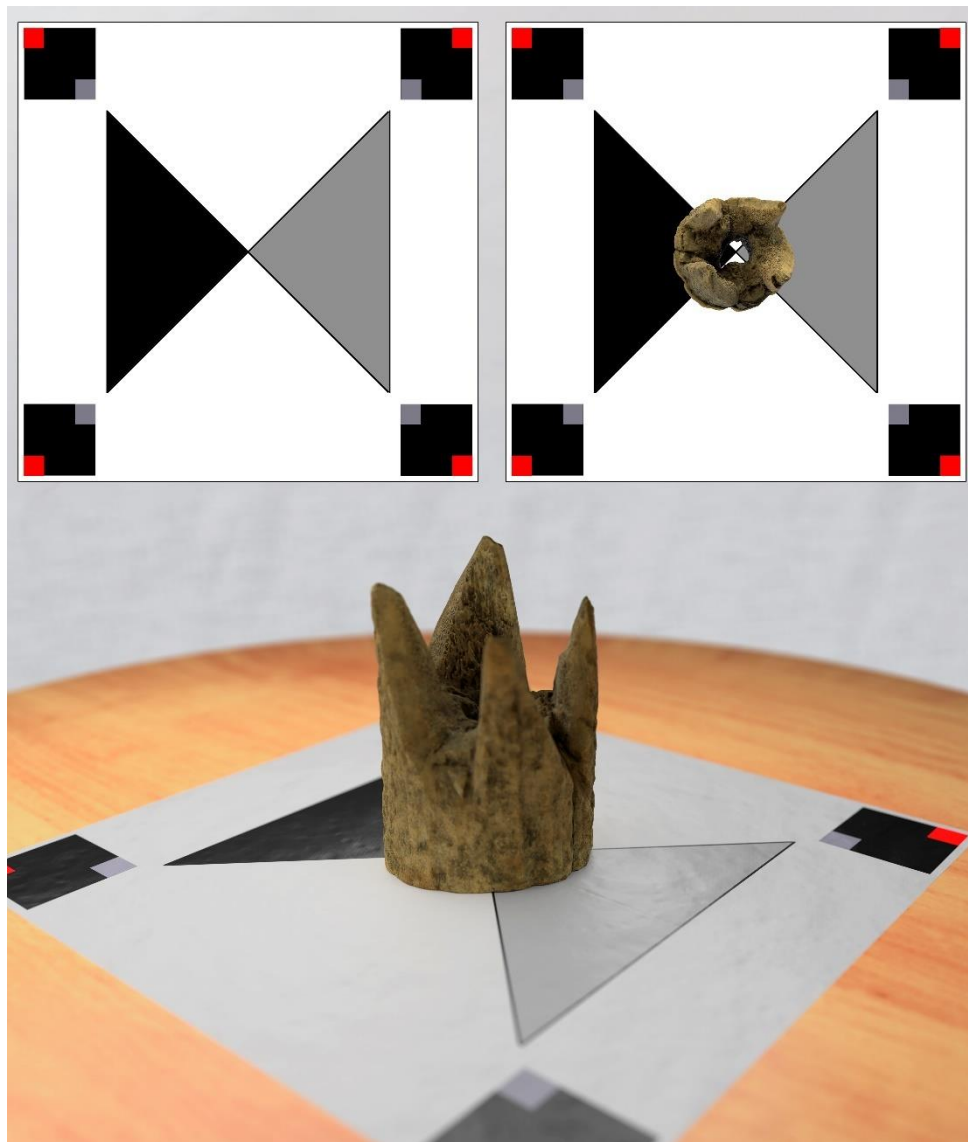


Figura 3.27. Dianas (parte superior) desarrolladas por el autor durante la elaboración de la tesis para mejorar la alineación de algunos modelos fotogramétricos especialmente complejos. Renderizado en Blender donde se explica el funcionamiento de la misma.

Otro punto que resultar interesante tratar es el referente a las limitaciones técnicas de la fotogrametría *Structure from Motion*. Este tipo de herramientas no siempre son apropiadas y se han de tener presentes cuáles son sus principales restricciones.

A grandes rasgos, este tipo de digitalización no suele ser adecuada a la hora de enfrentar escenas que presentan elementos sutiles como cuerdas de pequeño tamaño, hilos o pasto. Por otro lado, los objetos cilíndricos monocromáticos que carecen de bordes y texturas claramente definidas, se convierten en verdaderos quebraderos de cabeza para los *softwares* fotogramétricos. El brillo y la transparencia son características igualmente problemáticas que impiden la elaboración de modelos tridimensionales óptimos (Olson y Placchetti, 2015: 18).

Algunas de estas limitaciones pueden ser resueltas o mitigadas manipulando algunas variables externas durante el proceso de captura de fotografías. Por ejemplo, si se ha de capturar un elemento sin textura definida, podemos ampliar el campo de visión de nuestra cámara y capturar elementos adyacentes que puedan servir de puntos de referencia. Si esto no es suficiente, o la pieza en concreto debe ser tomada en una caja de luz, pueden añadirse una o varias pequeñas dianas contiguas (fig. 3.27) o bien, pegar adhesivos de diferentes colores distribuidos sobre la pieza (Benavides, 2017: 121).

Por otro lado, para mitigar los brillos que produce la superficie de algunos objetos es conveniente reducir o eliminar completamente cualquier fuente de luz directa. Para ello, bajar la intensidad o eliminar completamente sistemas de iluminación adicionales como los focos, puede ser una buena opción. No obstante, esto implicará, irremediabilmente, forzar los ajustes internos de la cámara fuera de los valores idóneos señalados anteriormente. Por tanto, y de forma excepcional, se puede ampliar la sensibilidad ISO, abrir más el diafragma o reducir más la velocidad del obturador. Todo ello supondrá un importante detrimento de la calidad de las imágenes adquiridas, pero permitirá captar una mayor luminosidad en la escena sin el empleo de fuentes de luz directas. Otra solución, de cierta eficacia, a la hora de reducir los brillos y sombras más evidentes, es la edición posterior de las fotografías obtenidas. Actualmente, existen en el mercado algunos *softwares* de pago enfocados al retoque fotográfico como es el caso de Adobe

Lighroom (Adobe, 2006: en línea) y Adobe Photoshop (Adobe, 1990: en línea), así como Gimp (Mattis y Kimbal, 1995: en línea) si lo que se busca es una alternativa gratuita. Estos programas permiten corregir algunos de los errores que pueden darse durante la captura y que podrían dar al traste con la elaboración de un modelo fotogramétrico. Para ello, es recomendable contar con los pesados archivos *raw* (.cr2), un formato sin apenas compresión que permite ajustar, *a posteriori*, una gran cantidad de variables de las fotografías sin ninguna pérdida evidente de calidad (fig. 3.28). De forma anecdótica, existen también algunos productos químicos, aerosoles que ayudan a reducir el brillo de determinadas superficies. Sin embargo, esto es algo que se debe evitar en todo lo posible, pues este tipo de sustancias pueden acabar deteriorando la pieza original.

Uso de Formatos RAW en Fotogrametría	
Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> - Incluye toda la información captada durante la toma de la fotografía - Permite ajustar todo tipo de parámetros de forma posterior y sin pérdida de calidad para la fotografía (exposición, altas luces, sombras, brillo, contraste, saturación, etc.) - Máxima calidad de imagen posible 	<ul style="list-style-type: none"> - Archivos muy pesados. Dificultad para almacenarlos y gestionarlos. - Necesitan un procesado o revelado posterior. El formato RAW en sí mismo suele ser incompatible con la mayoría de los programas fotogramétricos. - Cada marca de cámara fotográfica emplea su propio formato (Canon (.cr2), Nikon (.nef), Sony (.arw), Huawei (.dng), etc.)

Figura 3.28. Ventajas y desventajas del uso del formato RAW en fotogrametría.

Una recomendación adicional es evitar el uso de lentes gran angulares, también denominadas “ojo de pez” o “*fisheye*”. Esto se debe a que este tipo de objetivos

producen importantes deformaciones en las imágenes. En el caso de usarlas se deberán corregir previamente mediante el uso de algún software de edición fotográfica.

En definitiva, a pesar de no ser infalible, los beneficios de usar la fotogrametría superan con creces los posibles inconvenientes. En la gran mayoría de los casos, existen mecanismos físicos o digitales capaces de eliminar o mitigar sus limitaciones. Aunque este tipo de procedimientos pueden llegar a suponer una mayor inversión de tiempo, esto no llega a suponer un problema real. En términos generales, a nivel patrimonial son muy pocos los elementos cuya digitalización no puede llevarse a cabo mediante fotogrametría *SfM*. No obstante, existen y debemos ser conscientes de ello. Para este tipo de objetos siempre queda la posibilidad de aplicar técnicas alternativas que se adapten mejor a su caso concreto.

3.4 El Post-Procesado en Fotogrametría SfM ¿Para qué sirve un modelo 3D?

“Going beyond pretty pictures, using 3D data in a meaningful way”

Kotaro Yamafune, 2016

A pesar del cliché que supone la afirmación, los modelos tridimensionales no son el final sino el principio de acervo metodológico, mucho más extenso, que permite abordar un gran número de procedimientos adicionales. El trabajo fotogramétrico proporciona, en definitiva, una materia prima digital altamente manipulable, fácil de importar a numerosos *softwares* y con un alto grado de reproducibilidad. A diferencia de sus homónimos reales, o incluso de algunos medios habituales de documentación, estos modelos virtuales pueden ser sometidos a diferentes tipos de análisis y tratamientos de naturaleza digital sin que ello suponga un perjuicio real para su propia integridad.

Como indica Pereira Uzal (Pereira, 2017: 43), la imagen digital tiene dos esferas de uso, algo que también ocurre a la hora de trabajar con modelos fotogramétricos. Este tipo

de documentación tridimensional se convierte en un recurso divulgativo excelente, pero al mismo tiempo es un dato de extraordinario valor científico. La evidencia pasada, presente y futura de un objeto y su contexto que, gracias a herramientas de digitalización como la fotogrametría, puede visualizarse de forma diferida en busca de información que se haya obviado previamente (Reilly, 1991: 135).

En los siguientes subapartados se expondrán, de forma detallada, cuáles son las principales posibilidades que dimanar de la gestión de este tipo de materiales.

3.4.1 La fotogrametría aplicada a la conservación, reconstrucción, recreación y restauración del patrimonio

Como se ha analizado en apartados previos, la fotogrametría es una técnica íntimamente ligada a la gestión y a la conservación de los bienes patrimoniales. La continua evolución de los *softwares* fotogramétricos actuales permite registrar, de forma cada vez más precisa, el medio tangible. Sin embargo, la realidad arqueológica es caprichosa y supone un evento de preservación, generalmente fortuito, que no siempre mantiene intacta la integridad de sus materiales.

Salvo joyas excepcionales como Pompeya, el grueso del registro arqueológico se compone habitualmente de fragmentos inconexos o piezas deterioradas por el paso de los años, los fenómenos postdeposicionales y la incompetencia humana. El grado de erosión de algunos de estos elementos establece además una firme barrera a la hora de dinamizar su comprensión. Por este motivo, el público no especializado se enfrenta muy a menudo a la imposibilidad de interpretar una realidad tan compleja como es el patrimonio. Algo que el arqueólogo y la arqueóloga deben evitar en todo lo posible.

3.4.1.1 Diferencias entre restauración, reconstrucción y recreación virtual

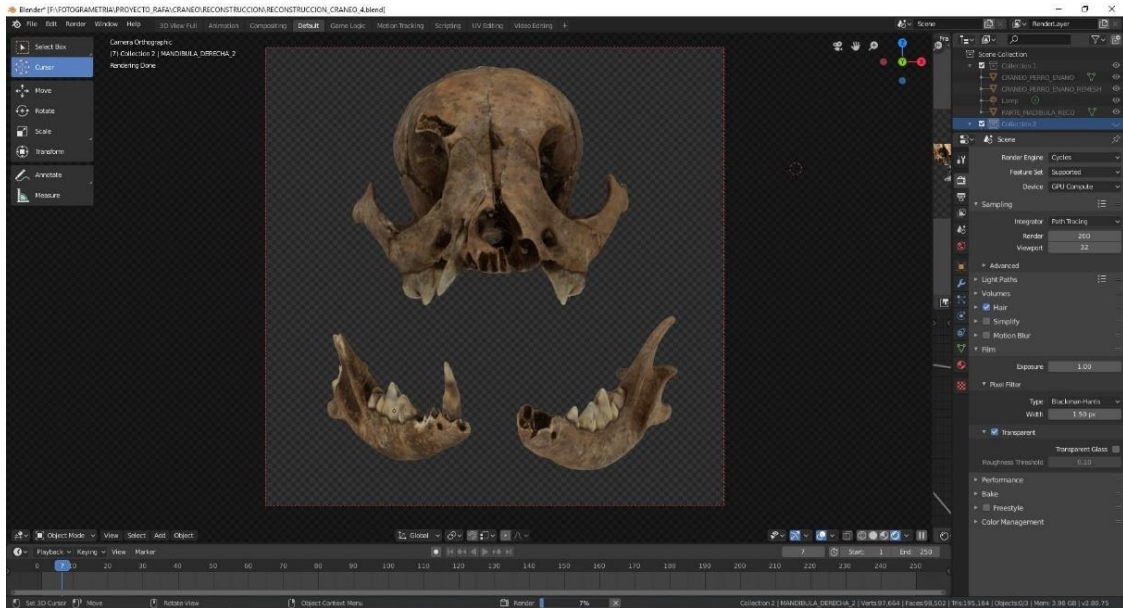


Figura 3.29. Modelo tridimensional del cráneo de una perra enana del siglo I d.C. descubierta en Córdoba. Tanto el cráneo como cada una de las mandíbulas fueron digitalizadas por separado, exportadas y recolocadas posteriormente mediante Blender (en la imagen).

Como paso previo a la exposición de la metodología, es necesario aclarar una serie de términos que habitualmente se toman como sinónimos, pero que abordan recursos prácticos distintos: restauración virtual, reconstrucción virtual o recreación virtual.

Tal y como se define en *Los Principios de Sevilla* (SEAV y FIAV, 2011: 2), la restauración virtual sería la reordenación digital de restos materiales que existen en el mundo físico pero que se encuentran desarticulados en el presente (figs. 3.29 y 3.30). Por el contrario, la reconstrucción sería un intento de recuperar visualmente determinadas partes de un bien patrimonial (fig. 3.32). Sin embargo, estas partes faltantes ya no existen en el medio tangible y deben recuperarse a partir de inferencias científicas razonables.



Figura 3.30. Renderizados obtenidos en Blender, sobre el modelo tridimensional del cráneo de una perra enana del siglo I d.C. descubierta en Córdoba, donde se desglosa el proceso de anastilosis, así como la reconstrucción de las partes faltantes.

En último lugar, la recreación virtual se convierte en una forma de recuperación visual de un objeto o contexto determinado del pasado sin que exista para ello ningún tipo de resto material (figs. 3.30 y 3.33). La recreación se aborda, por tanto, mediante un estudio bibliográfico previo y a partir de deducciones con una base histórica lógica.

Claro está, que sean técnicas diferentes, no implica que no sean actividades complementarias. Un elemento puede aparecer desarticulado y, a la vez, incompleto en el contexto arqueológico. Por tanto, no solo precisará de una restauración o recolocación de los elementos conservados, sino que también podrán reconstruirse

aquellas partes faltantes y, del mismo modo, contextualizarse históricamente mediante una recreación (figs. 3.31, 3.32 y 3.33).

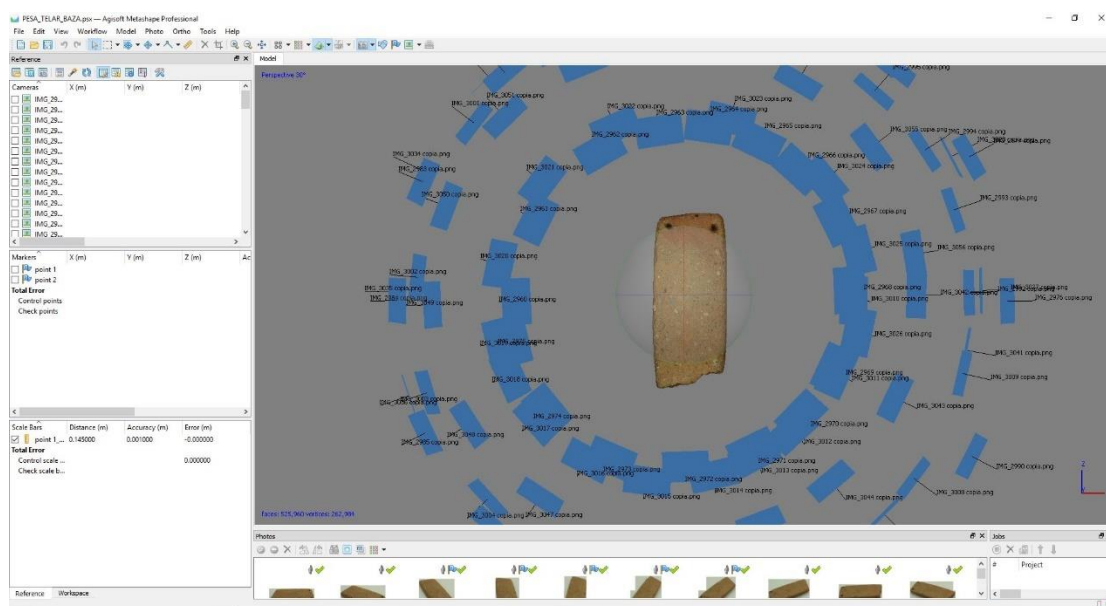


Figura 3.31. Creación en Agisoft Photoscan del modelo tridimensional de una pesa de telar de época calcolítica procedente del municipio de Baza (Granada). El modelo tridimensional interactivo puede consultarse en el siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/pesa-telar-baza-12a83b9627f34e4f9d9758136779e90c> [última visita: 23/10/2019].



Figura 3.32. Diferentes pasos de la reconstrucción de una pesa de telar calcolítica procedente del municipio de Baza (Granada). El modelo tridimensional interactivo puede consultarse en el siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/pesa-telar-baza-12a83b9627f34e4f9d9758136779e90c> [última visita: 23/10/2019].



Figura 3.33. Recreación del posible entorno en que se enmarcaría la pesa de telar de época del cobre procedente del municipio de Baza (Granada).

3.4.1.2 La reconstrucción del pasado a través de un presente material

Tradicionalmente, han sido disciplinas hermanas como la Restauración y la Arqueología las encargadas, no solo de garantizar la conservación de este tipo de elementos, sino de hacerlos socialmente comprensibles (Pacheco y Vega, 2017: 13). Hoy día, la mayoría de los proyectos arqueológicos incorporan de manera habitual personal especializado en técnicas de restauración. Y, al igual que le ha ocurrido a la Arqueología en los últimos años, esta disciplina se ha visto notablemente potenciada por un empleo cada vez más frecuente de las nuevas tecnologías informáticas (Hernández-Muñoz *et al.*, 2019: 65-73). Sin embargo, la dinámica actual de la Restauración se ajusta más a una tendencia enfocada hacia aspectos relacionados con la prevención y el mantenimiento que a la restauración física propiamente dicha.

Es aquí donde, quizá, más se bifurca su camino con el del arqueólogo, el cual no solo debe localizar sino también hacer socialmente accesible un patrimonio ya consolidado. Con la generalización de herramientas de tipo digital, el arqueólogo puede desarrollar

procedimientos reconstructivos, de forma autónoma, sobre materiales que ahora ya no corren ningún riesgo de deterioro. El humanismo digital (Arocena, 2014: 87-98; Burdick *et al.*, 2012: 10-140; Dalton y Charnigo, 2004: 402-420; Galina-Russell, 2012: 185-187; González-Blanco, 2016: 80-90; Hockey, 2004: 4-17; Presner *et al.*, 2009: en línea; Rojas, 2013: 76-98; Romero, 2014: 15-280; Ross, 2018: 25-42) ha creado unas fronteras tan permeables que personas con distinta formación pueden convertirse en especialistas de una misma metodología. Esto genera una gran riqueza de visiones y diversas maneras de abordar problemáticas muy concretas. Una realidad que, lejos de convertirse en una forma de intrusismo, favorece en gran medida la creación de un conocimiento científico de calidad.

El flujo de trabajo que se describe ahora, se enmarca por tanto en una dinámica de trabajo que, gracias principalmente al desarrollo e incorporación de herramientas informáticas y *hardwares* cada vez más potentes, ha ido optimizándose con el paso de los años. Es por ello, que la metodología propuesta para digitalizar, restaurar, reconstruir o recrear bienes patrimoniales de pequeño y mediano tamaño sigue las líneas básicas trazadas por algunos trabajos previos de estas características (Barreau *et al.*, 2014; Chow y Chan, 2009; Escaplés *et al.*, 2017; Gómez y Quirosa, 2009; Hermon *et al.*, 2011; Koutsoudis *et al.*, 2009; Olson, 2016; Papadopoulos *et al.*, 2015; Sablatnig y Menard, 1997, Aparicio Resco, 2016b, 2016a). Aportando, en este sentido, elementos propios en cuanto al modo de aplicación y los resultados finales.

En conjunto, y de forma muy resumida, el proceso es una compleja combinación de diferentes programas de diseño 2D y edición fotográfica (Adobe Photoshop, Adobe Lightroom®), fotogrametría (Agisoft Metashape y Reality Capture) y modelado 3D (Blender, Z-Brush®). Para el postprocesado de los modelos 3D se usa principalmente Blender, un programa multiplataforma abierto que permite un alto grado de manipulación de las geometrías tridimensionales (Blender, 1998: en línea; Roosendaal, 1998: en línea). Blender es una herramienta de gran potencia, que aborda un amplio abanico de posibilidades de actuación sobre piezas naturaleza digital. Es importante aclarar también que, dentro del propio *software*, se optó por emplear el motor de

renderizado *Cycles* (en sus versiones 2.79 y 2.8), mucho más eficiente a nivel de renderizado que *Blender Render* o *Eevee*.

De esta forma, mediante el uso de Blender y una consulta bibliográfica específica, pueden llevarse a cabo restituciones totales o parciales de prácticamente cualquier elemento sin que esto redunde en un perjuicio para la pieza original. A diferencia del patrimonio tangible, el digital puede duplicarse y modificarse las veces que sean necesarias. Esto permite esquivar, hasta cierto punto, el eterno dilema del restaurador sobre la necesidad de diferenciar o no los añadidos reconstructivos. Este histórico debate queda perfectamente ejemplificado en el artículo 12 de la ya mencionada Carta de Venecia, donde se especifica que: *“Los elementos destinados a reemplazar las partes inexistentes deben integrarse armoniosamente en el conjunto, distinguiéndose claramente de las originales, a fin de que la restauración no falsifique el documento artístico o histórico”* (ICOMOS, 1964: 3).

Algunos años más tarde el libro editado por la UNESCO *La Conservación de los bienes culturales con especial referencia a las condiciones tropicales* (Daifuku, 1969) reconocerá nuevamente la necesidad de separar ambas realidades. En él, Hiroshi Daifuku explica: *“En el caso de la preservación de bienes muebles cabe citar diferencias de práctica semejantes. Por ejemplo, una vasija descubierta en una excavación fue restaurada hasta el punto de que sólo un examen minucioso permitía distinguir las partes originales de las restauradas. En efecto, no era raro que los restauradores hábiles reuniesen diferentes piezas de vasijas o esculturas produciendo así un objeto espúreo. Como reacción, durante cierto tiempo, las vasijas o las estatuas se repararon de manera que la sección restaurada destacaba fuertemente (por ejemplo, secciones de yeso blanco en una vasija policromada). Esta práctica se siguió también en la restauración de edificios. Con el tiempo, sin embargo, se ha ido imponiendo en la mayor parte de los casos una solución intermedia.”* (Daifuku, 1969: 27).

De este modo, tal y como se recoge en el artículo 7 de la Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico, no resultaría completamente esencial, pero sí recomendable que *“Las reintegraciones respondan a dos funciones importantes: la*

investigación experimental y los fines pedagógicos e interpretativos de la realidad pretérita. Sin embargo, deben tomarse grandes precauciones para no borrar cualquier huella arqueológica subsistente; y deben tenerse en cuenta toda serie de pruebas para conseguir la autenticidad. Allí donde resulte posible y apropiado, tales reposiciones no deben efectuarse inmediatamente encima de los restos arqueológicos, y han de ser identificables como tales. Por ello, determinamos aplicar una textura que se diferenciase perfectamente de la parte real “ (ICOMOS, 1990: 5). Algo que también se señala, de forma específica, en los Principios de Sevilla: “En la medida que muchos restos arqueológicos han sido y siguen siendo restaurados o reconstruidos en la realidad, la visualización asistida por ordenador debe ayudar tanto a los profesionales como al público a diferenciar claramente entre: los restos que se han conservado “in situ”, los restos que han vuelto a ser colocados en su posición originaria (anastylosis real), las zonas que han sido reconstruidas parcial o totalmente sobre los restos originales, y finalmente las zonas que han sido restauradas o reconstruidas virtualmente” (SEAV y FIAV, 2011: 16).

Una vía alternativa la compone, en este caso, la escala de representación gráfica propuesta por Aparicio y Figueiredo (2016: 240), donde el grado de evidencia histórico-arqueológica de un elemento patrimonial se representa a través de una escala cromática específica (fig. 4.42). Sin embargo, esto no sustituye, sino que apoya y acompaña a las reconstrucciones con acabado mimético o las recreaciones de carácter más realista.

Llegados a este punto, y dada la reproducibilidad y el fuerte grado de manipulación connatural a la documentación gráfica desarrollada a partir de estas herramientas digitales, su uso resulta más que suficiente para la elaboración de diversas vías representativas capaces de combinarse y complementarse de forma recíproca.

En el caso concreto de esta tesis, se han llevado a cabo propuestas reconstructivas de naturaleza diferente. A lo largo de la exposición tanto del presente capítulo metodológico como del capítulo de resultado, se ha experimentado con reintegraciones o reconstrucciones que incorporan prótesis no miméticas, semimiméticas o completamente miméticas (Esclapés *et al.* 2017: 159). Para ello, se ha empleado no sólo

estas tres soluciones comentadas en líneas previas, sino algunas propuestas propias adicionales más (fig. 3.34).

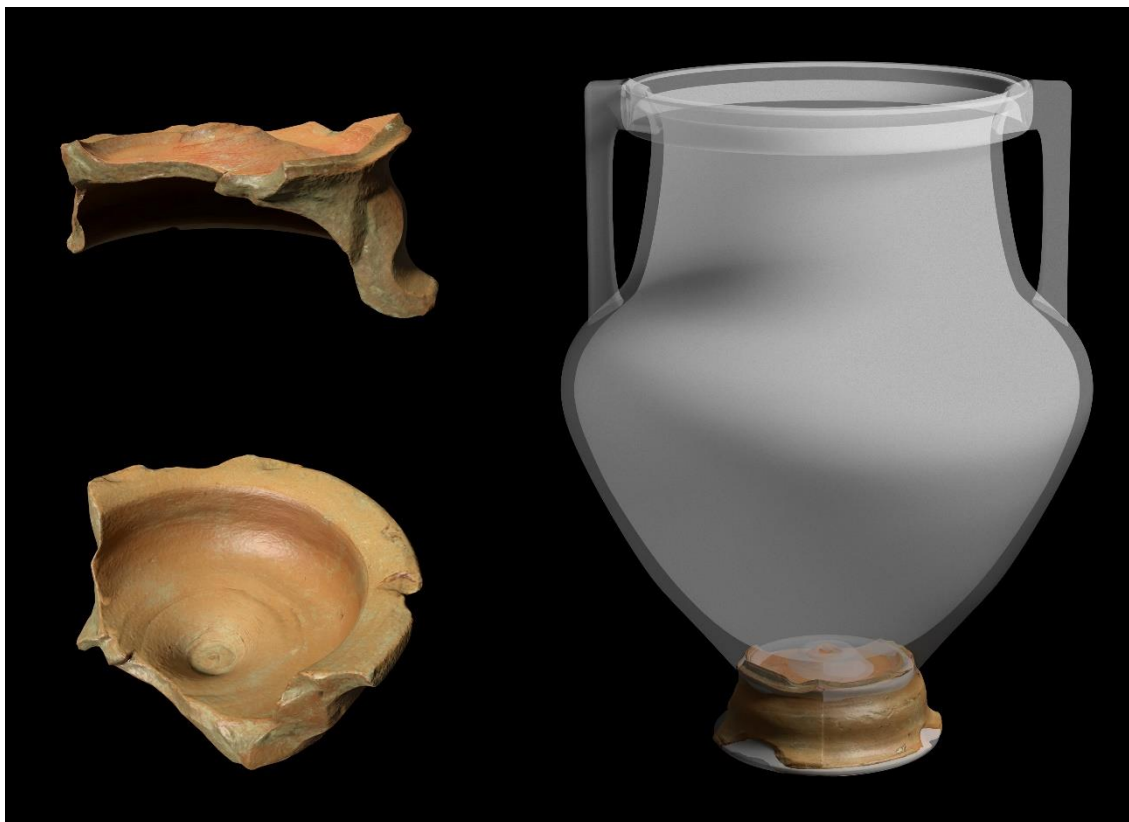


Figura 3.34. Propuesta reconstructiva con prótesis digital no mimética de una crátera de columnas recuperada en el término municipal de Baza (Granada). Del objeto en cuestión solo se conservaba la parte del soporte. Propuesta reconstructiva de una crátera de columnas recuperada en el término municipal de Baza (Granada). Del objeto en cuestión solo se conservaba la parte del soporte. El modelo tridimensional interactivo puede consultarse en el siguiente enlace: <https://skfb.ly/6HBpH> [última visita: 23/10/2019].

3.4.1.3 Problemáticas en torno a la necesidad de obtener perfiles precisos

La utilidad de una pieza reconstruida digitalmente no se restringe únicamente al ámbito divulgativo, sino que puede llegar a proporcionar datos de gran valor científico. En efecto, la reconstrucción de determinadas partes o de piezas completas a partir de secciones o planimetrías es la base sobre la que se construyen análisis digitales posteriores.

No obstante, en el caso concreto de las reconstrucciones llevadas a cabo sobre piezas cerámicas regulares, existe una problemática que conviene revisar. Esta tiene que ver

con la representación específica de los perfiles y secciones que acompañan a este tipo de materiales en las publicaciones habituales.

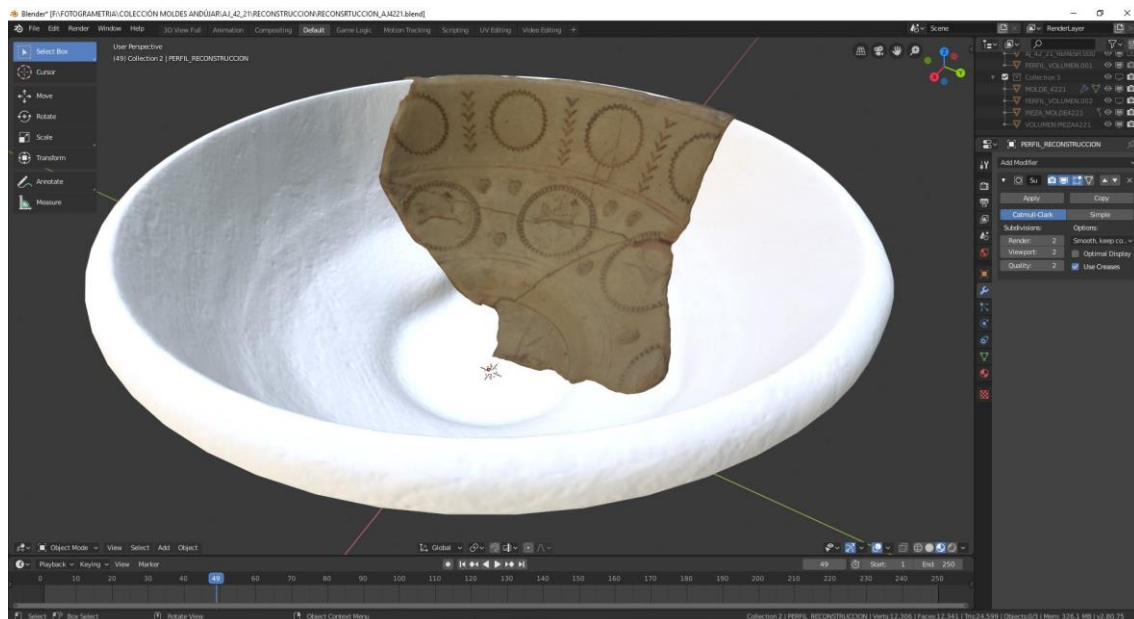


Figura 3.35. Modelo fotogramétrico integrado en una prótesis digital no mimética creada a partir de la topología reconstruida mediante la vectorización de una sección dibujada del molde de *terra sigillata* hispánica AJ4221.

Durante la elaboración del material gráfico que acompaña a esta tesis, se ha tenido acceso a cerámica de distinta procedencia, factura y naturaleza. Unas piezas sobre las que se han podido aplicar procedimientos reconstructivos siguiendo un mismo patrón. Una de las bases en las que se apoyan las reconstrucciones de recipientes cerámicos es la elaboración de un modelo completamente virtual a través de su perfil o sección. La obtención de este perfil puede llevarse a cabo de diversas formas. Por un lado, aquellas aproximaciones de carácter más manual que aplican metodologías de dibujo arqueológico tradicionales. La alternativa en este caso pasa por obtenerlo directamente del modelo fotogramétrico.

En el primero de los casos, se generará un cuerpo tridimensional a partir de secciones dibujadas que se encuentren en un formato de imagen digital. Esto puede conseguirse con un escáner fotográfico de alta resolución. Una vez en importadas a Blender, el contorno del perfil puede vectorizarse y aplicar sobre ellos algunas de las herramientas de edición disponibles en el *software*. Esto es lo que se conoce como modificadores o

modifiers. Una de ellos “*Screw*”, permite rotar la vectorización de nuestro dibujo en 360 grados, generando un cuerpo completamente tridimensional. De forma posterior, suavizamos la superficie aplicando otro modificador denominado “*Subdivisión Surface*”.

La forma resultante compone la base sobre la que apoyaremos el modelo obtenido mediante fotogrametría (fig. 3.35). No obstante, a la hora de unir ambas partes surgían varios problemas. El modelo generado a partir de la sección digitalizada que, en teoría, debía representar la forma real de nuestro recipiente cerámico, presentaba igualmente variaciones sustanciales de forma. Esto puede deberse a dos fenómenos principalmente. En primer lugar, a la pericia y minuciosidad del propio dibujante. En segundo lugar, la irregularidad inherente en este tipo de piezas.

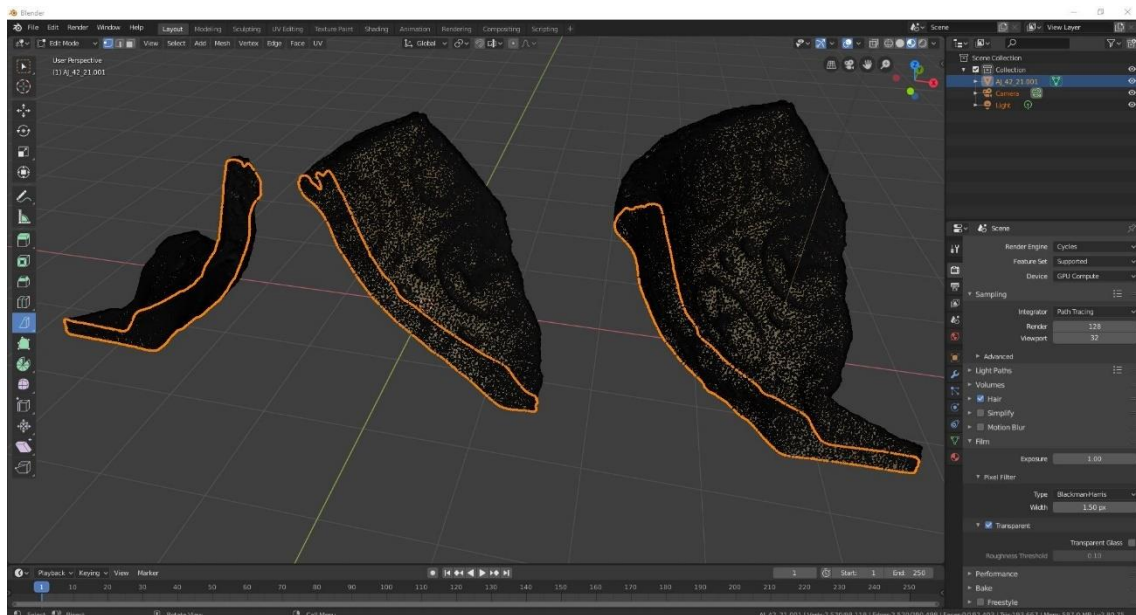


Figura 3.36. Secciones obtenidas en Blender a partir de tres cortes realizados en distintas partes del modelo fotogramétrico del molde de *terra sigillata* hispánica AJ4221. Este fue previamente triplicado, otra importante ventaja de trabajar con modelos digitales, su reproducibilidad.

Ambas problemáticas pueden mitigarse, en gran medida, extrayendo el perfil a partir de cortes precisos llevados a cabo sobre un modelo fotogramétrico de alta calidad (fig. 3.36). La sección resultante se ajusta mucho más a la realidad que cualquier otra realizada a mano. Pero esto no suele ser suficiente, ya que a pesar de que existen grupos cerámicos bastante estandarizados como las cerámicas romanas, estas nos dejan de ser productos artesanales de factura irregular cuya forma circular presenta, a veces,

importantes deformaciones estructurales. Por este motivo, si nos limitamos a obtener el perfil de una única zona, es muy probable que, al aplicar el modificador y generar una forma perfectamente circular, esta no coincida plenamente con la pieza. Esto es una realidad justificada por la bidimensionalidad del dibujo tradicional, pero un error muy evidente cuando intentamos recrear cuerpos en tres dimensiones.

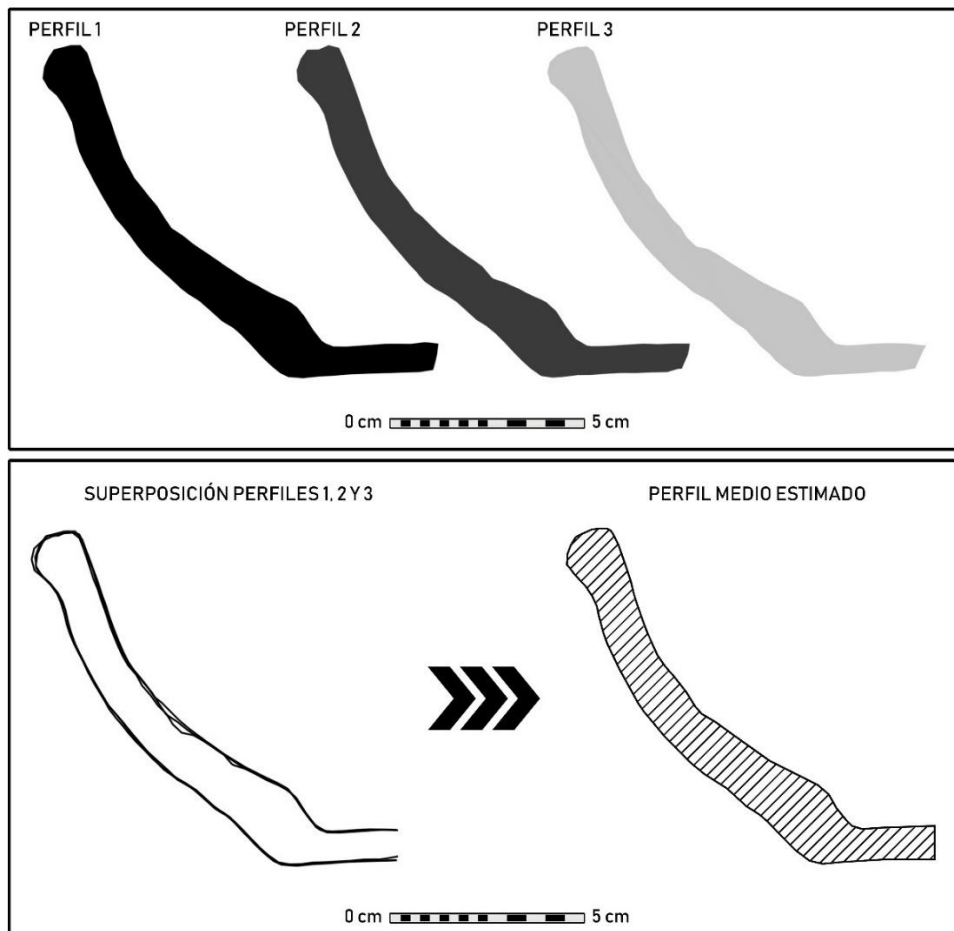


Figura 3.37. Comparativa de las diferencias entre perfiles según la parte del modelo fotogramétrico donde se obtiene y extracción del perfil medio para recrear la forma del molde de *terra sigillata* hispánica AJ4221.

A pesar de todo, existe una forma de reducir la distorsión en cerámicas que, como la romana, presentan cierto grado de regularización. Mediante la comparación de tres secciones extraídas digitalmente de partes distintas de un modelo fotogramétrico, se puede obtener un perfil corregido, el cual nos permita generar un objeto mucho más exacto (fig. 3.37). Esto resulta primordial si lo que se busca es reconstruir correctamente la forma completa de un fragmento cerámico.

El cuerpo tridimensional generado a partir del perfil medio obtenido de la comparación manual entre los perfiles sacados de diversas partes de la pieza original permite, ahora sí, integrar el modelo fotogramétrico y la parte reconstruida de forma mucho más exacta (fig. 3.37). Tras esto, simplemente han de añadirse algunos pequeños ajustes con el programa de modelado orgánico digital en Pixologic Zbrush® (Pixologic, 1999: en línea), o bien mediante el modo esculpido de Blender (Blender, 1998: en línea).

3.4.1.4 ¿Cuáles son las posibilidades de las herramientas de reconstrucción digital?

Uno de los beneficios más interesantes de una intervención de reconstrucción digital es, sin duda alguna, su rentabilidad social. El grado de deterioro y fragmentación que eventualmente presenta el contexto arqueológico supone un grave obstáculo para la comprensión entre un público no especializado. Una estructura arrasada, un fragmento cerámico aislado constituyen, a veces, verdaderos dilemas interpretativos entre profesionales y académicos del sector. En el mejor de los casos, para el grueso de una población sin formación específica, el contexto arqueológico se convierte en un galimatías imposible. Presentadas en forma de infografías atractivas y comprensibles (figs. 3.32, 3.33, 3.34 y 3.38), la reintegración de partes ausentes y/o las recreaciones en torno al posible uso de una pieza se configuran como herramientas perfectas para dar sentido a un conocimiento cuya función es puramente social. La divulgación inteligible del conocimiento termina convirtiéndose en una herramienta con un alto valor educativo y concienciador.



Figura 3.38. Diferentes renderizados de la pieza original (izquierda) junto a la reconstrucción con acabado mimético y recreación (derecha) de una lucerna de doble pico procedente del Cerro de la Mora (Moraleda de Zafayona, Granada). En la recreación se añadió el sistema portante y se reconstruyeron todas aquellas partes perdidas.

Sin embargo, su capacidad de uso no se restringe a este ámbito. Los procedimientos tanto de reconstrucción como de restauración virtual se convierten en campos de experimentación perfectos antes de abordar la consolidación definitiva de una pieza real. De esta forma, es posible proponer varias hipótesis reconstructivas, de forma previa y sin dañar con ello una realidad tan sumamente frágil como es el patrimonio.

Por último, y aunque se abordará más detenidamente en el próximo apartado, la integración de réplicas fotogramétricas y procedimientos reconstructivos de tipo digital se convierten en componentes potencialmente analizables y, por ende, en elementos de gran interés para el investigador.

3.4.2 La fotogrametría SfM, una forma más exacta y dinámica de representación arqueológica

Si algo ha acompañado siempre a la Arqueología, ha sido esa inevitable necesidad de mostrar, representar o ilustrar de forma coherente los datos y la información. La

revolución que supuso la integración de la fotografía (González, 2016: 55-65), primero analógica y después digital, en el sistema de documentación arqueológica, puede servir para comparar el estímulo aportado hoy por técnicas como la fotogrametría convergente.

Los diferentes flujos de trabajo o métodos que, a lo largo de la historia de nuestra disciplina, se han ido sucediendo y han tratado de abordar esta necesidad innata de la mejor forma posible, se han visto siempre profundamente influidos por la variable “Tiempo Invertido/Resultado Obtenido”. En efecto, en Arqueología el tiempo de realización de los trabajos es un factor determinante *per se*.

A este respecto, existen técnicas de representación gráfica que proporcionan resultados óptimos con una mínima inversión de tiempo. Figuras bastante esquemáticas pero que permiten, no obstante, observar la forma, tonalidades originales e, incluso, las características tecnológicas más básicas (p. ej. producción mano/torno) del elemento representado. Esto las convierte en una herramienta ideal a la hora de trabajar con conjuntos de piezas muy amplios, pero implica errores anteriormente señalados como la obtención de perfiles poco precisos (figs. 3.36 y 3.37).

Al contrario, existen otras técnicas cuyos resultados difícilmente justifican la enorme cantidad de tiempo invertido en su elaboración. En tercer lugar, y en una posición intermedia, se encuentran aquellas otras técnicas que, como ocurre con la fotogrametría y su postprocesado, se ven completamente rentabilizados en tiempo por la calidad y el detalle de los resultados que proporcionan.

De esta forma, y profundamente ligado al punto anterior (3.4.1), habría que destacar el potencial documental e ilustrativo que supone el empleo de una herramienta de digitalización como la fotogrametría *SfM* (Barrera, 2006: 247-248; Angás y Serreta, 2012: 39-41). El empleo de flujos de trabajo como los que se intentan presentar en esta tesis, posibilita la elaboración de una documentación arqueológica capaz de combinar precisión, con tiempos de elaboración relativamente cortos y unos resultados, en

general, de gran atractivo visual y, por tanto, idóneos para tareas de divulgación y difusión.

De entre sus principales ventajas cabría destacar, en primer lugar, la reproducibilidad de este tipo de formatos (Garstki, 2017: 729; Karasik y Smilansky, 2011: 2656; Le Quellec *et al.*, 2015: 57; Remondino *et al.*, 2017: 595). Tenemos, en efecto, modelos digitales que pueden ser duplicados tantas veces como deseemos y, por tanto, con unas posibilidades de edición prácticamente infinitas.

Por otro lado, el nivel de precisión a la hora de representar un objeto arqueológico previamente digitalizado, supera con creces cualquier tipo de resultado que pueda obtenerse de forma manual. Ya no solo en lo relativo a documentación cartográfica u ortofotografías de sectores de excavación, donde los modelos 3D llevan información del eje Z en todos sus puntos, sino por su efectividad en la representación de elementos patrimoniales de pequeño y mediano tamaño. A pesar de que, en este caso, no tendría mucho sentido el despliegue de un ortomosaico, la importación de los modelos fotogramétricos en *softwares* como Blender permite obtener renderizados de la pieza con una proyección ortográfica. En este tipo de representación se consigue reducir considerablemente el grado de distorsión que provocan, por ejemplo, la gran mayoría de objetivos fotográficos (fig. 3.39). Esto, obviamente, repercute en un grado de precisión de nuestras ilustraciones o infografías difícilmente asequible por medios tradicionales de dibujo.

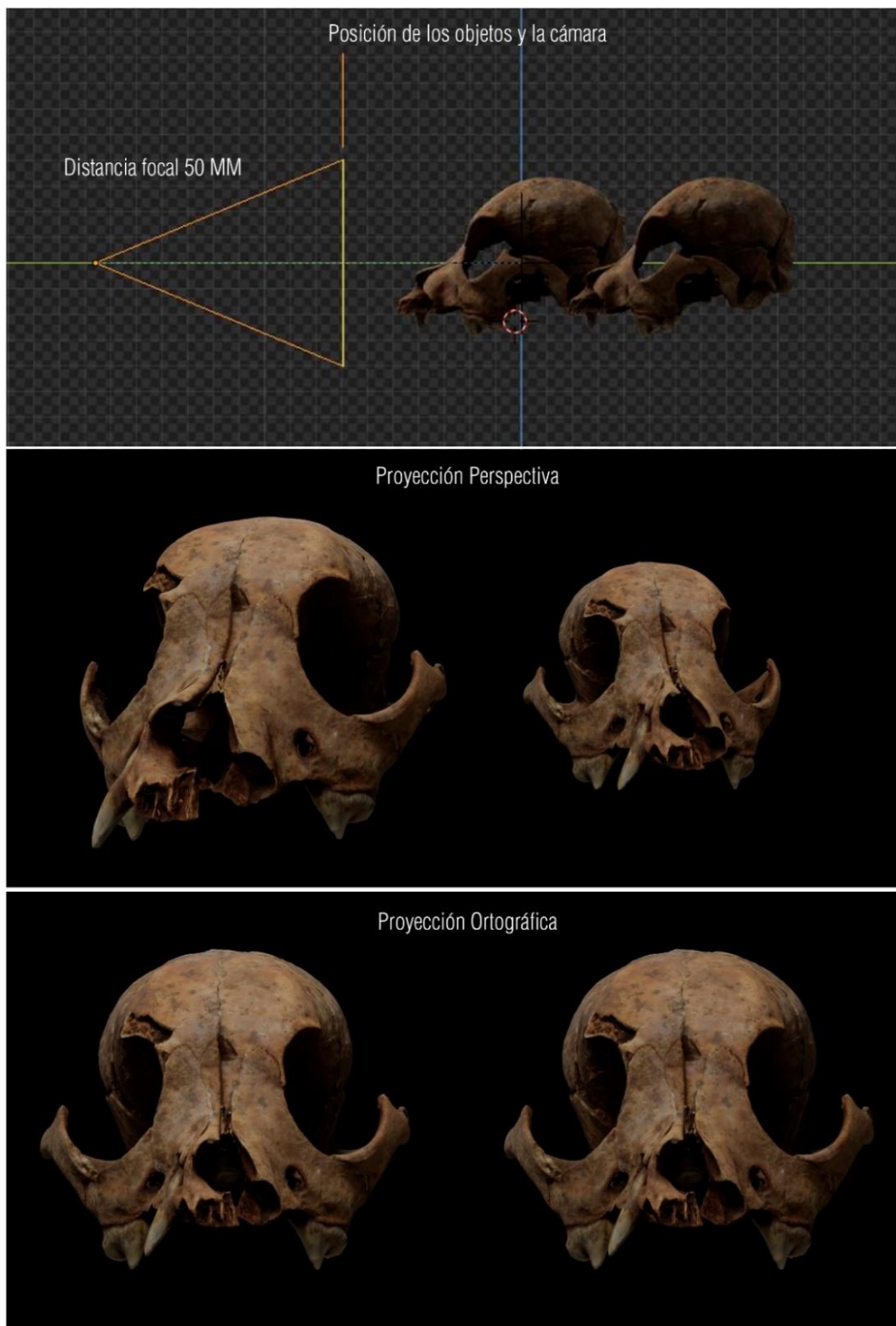


Figura 3.39. Comparativa entre una proyección en perspectiva (centro) y una proyección ortográfica (inferior). Ambas fueron tomadas con los objetos a la misma distancia. Se puede observar cómo en la proyección ortográfica se reduce considerablemente la distorsión en la forma de los objetos, a pesar de que estos se encuentran a diferente distancia de la cámara. Esto permite obtener imágenes sin apenas distorsión donde pueden obtenerse medidas de forma precisa.

Del mismo modo, y tal y como ya se ha visto previamente, trabajar con material digital implica un alto grado de manipulación de este tipo de objetos. Gracias a ello, es posible llevar a cabo restauraciones, reconstrucciones o recreaciones virtuales y producir con ellas un material visual de increíble realismo y atractivo. Es cierto que el dibujo a mano puede llegar a aportar resultados similares, pero supone una inversión de tiempo mucho mayor, influye demasiado el talento y este no deja de ser una interpretación de la realidad que hace el propio dibujante, un inconveniente respecto a los datos más asépticos que pueden generarse, por ejemplo, a través de la fotogrametría. Esta técnica permite superar, por tanto, las restricciones inherentes en el dibujo tradicional permitiendo además generar, a casi cualquier persona independientemente de su talento creativo, un material gráfico de calidad.

Por último, trabajar con materiales digitales y especialmente tridimensionales, aporta un abanico de opciones increíblemente amplio. Una vez digitalizado, el modelo 3D no solo puede ser duplicado, compartido, analizado y/o reconstruido prácticamente sin límites, sino que es posible materializarlo de nuevo gracias a las nuevas tecnologías de impresión.

3.4.3 La fotogrametría *SfM* y el análisis morfométrico digital

Una vez restituidos, escalados y perfectamente ubicados en el espacio, existe la posibilidad de llevar a cabo varias propuestas de análisis digital. A pesar de que las reproducciones digitales que se obtienen mediante fotogrametría no pueden sustituir la sustancialidad inherente en la realidad original, son morfológicamente casi idénticas a sus piezas de origen. Por este motivo, mediante el uso de este tipo de material es posible, por ejemplo, obtener una sección mucho más precisa de cada pieza (figs. 3.36 y 3.37), análisis cuantitativos de la forma, la capacidad volumétrica o, incluso, confirmar tipologías y clasificaciones. Este tipo de análisis digitales pueden llevarse a cabo tanto sobre réplicas fotogramétricas, reconstruidas o no, como sobre piezas obtenidas por modelado tridimensional a partir de perfiles, sección o planimetrías de referencia. Para

ello, es preciso disponer de programas específicos como Blender®, Cloud Compare® o Meshlab® (Cignoni *et al.*, 2008), *softwares* que permite aplicar todos estos cálculos en un entorno completamente digital.

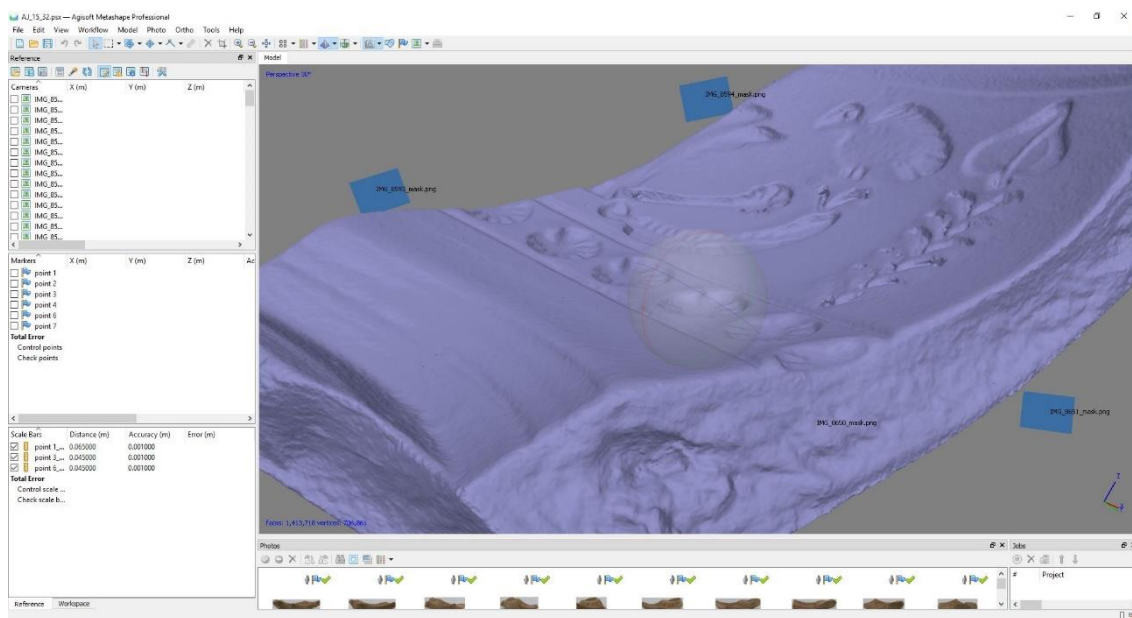


Figura 3.40. Modelo fotogramétrico del molde de *terra sigillata* hispánica AJ1532 donde se aprecia la calidad de su malla geométrica, compuesta por casi 1.500.000 de caras y más de 700.000 vértices.

Igualmente, con el objetivo de generar mediciones rigurosas los modelos tridimensionales han de realizarse con la máxima calidad posible, de forma que exista una mínima distorsión entre este y su homónimo real. Un modelo 3D de alta calidad implica geometrías mucho más precisas y veraces (fig. 3.40), pero también elementos digitales mucho más pesados y con un tiempo de renderizado mayor. Para la confección del material digital que presentamos en esta tesis, al trabajar con piezas de pequeñas dimensiones que raramente superaban las 80 fotografías, fue posible generar objetos de muy alta precisión geométrica sin una excesiva carga para nuestro *hardware*.

Trabajar con analíticas de índole digital implica, obviamente, importantes ventajas. Sin embargo, su principal beneficio deriva en este caso de su escasa incidencia. Al ser una técnica de “No Contacto” esta no implica una manipulación directa, razón por la cual la integridad y conservación de la pieza original está completamente garantizada.

3.4.3.1 Mediciones precisas

Como veíamos en apartados precedentes, uno de los pasos más importantes para generar réplicas fotogramétricas de calidad, era su escalado. Aunque contenga una afinidad geométrica excepcional, un modelo digital mal dimensionado y ubicado en el espacio se convierte en una materia prima incompleta. Bien de forma manual o automática, escalar de manera precisa nuestro modelo fotogramétrico aumenta considerablemente su valor científico.

Con desviaciones menores a 0.1-0.2 mm con respecto a la pieza original (Jiang *et al.*, 2008: 833; Zhang *et al.*, 2010: 122; Zhu *et al.*, 2010: 3525-3527), es un hecho consolidado que la precisión que aporta una réplica generada con fotogrametría es más que suficiente para aportar información veraz. Con una ratio de exactitud tan amplia, uno de los principales beneficios de llevar a cabo un levantamiento fotogramétrico es, sin duda, la posibilidad de tomar medidas sobre él.

Dentro del flujo de trabajo fotogramétrico, una de las opciones que proporcionan *softwares* como Agisoft Metashape es la de crear una ortofotografía perfectamente medible. La ortofotografía despliega todos los elementos de nuestro modelo 3D a una misma escala y sin ningún tipo de distorsión. Esto posibilita, entre otras cosas, realizar mediciones precisas sobre ella. Aunque dependerá en gran medida del proceso de creación y escalado el propio modelo digital, el margen de error de este tipo de representaciones bidimensionales es realmente bajo. En efecto, esto es algo especialmente útil a la hora de generar documentación planimétrica de, por ejemplo, una excavación arqueológica.

En el caso concreto de los objetos de pequeño y mediano tamaño, generar ortofotografías desde los *softwares* fotogramétricos, o bien renderizados con proyección ortográfica en otras plataformas, resulta igualmente beneficioso. A pesar de que este tipo de representaciones bidimensionales limitan considerablemente la distorsión, la opción de realizar mediciones de forma interactiva sobre un modelo puramente tridimensional es aún más provechosa. Algo especialmente relevante en el

caso de piezas de tamaños muy reducidos, donde la medición de determinadas partes puede convertirse en una tarea a veces imposible (fig. 3.9) (Altamirano y Alarcón, 2018 :114).

A diferencia de lo que ocurre con una fotografía, o un conjunto de estas, la información que contiene un modelo fotogramétrico estándar es considerablemente mayor, lo que aumenta sus opciones de un análisis *a posteriori*. Un modelo fotogramétrico se convierte en un instrumento muy ventajoso si las piezas que se quiere medir se encuentran fuera del alcance. Ya sea por su ubicación geográfica, estado de conservación o porque la pieza original simplemente haya desaparecido, existe gran parte del patrimonio al que no es posible acceder de forma física. Es en este tipo de casos, donde los modelos fotogramétricos y la capacidad de realizar mediciones sobre ellos reviste especial valor.

Este tipo de herramientas de medición suelen ir integradas dentro de los programas fotogramétricos propiamente dichos, aunque también suelen incorporarse en *softwares* externos como Blender, Meshlab o Cloud Compare, siendo esta una herramienta bastante usual en cualquier programa de diseño o edición 3D que trabaje en base a coordenadas cartesianas.

3.4.3.2 Cálculos volumétricos

Uno de las intervenciones analíticas que podemos llevar a cabo en un entorno íntegramente digital es el cálculo del volumen de un objeto o de la capacidad volumétrica de estos (Sánchez y Cerdeño, 2014: 24).

Este es un procedimiento relativamente sencillo y aplicable a cualquier objeto de naturaleza digital. Los modelos fotogramétricos componen por tanto interesantes casos de estudio. Como afirma Jorge Aso Vizán en su tesis sobre morfometría craneofacial, *“recientemente, se ha señalado que las técnicas de fotogrametría proporcionan una exactitud muy aceptable en la adquisición de superficies de volúmenes, y pueden ser usadas en clínica, teniendo una precisión de menos de 1 mm”* (Aso, 2017: 65). En el caso de los elementos tridimensionales que no han sido adquiridos mediante fotogrametría,

sino que son fruto del modelado puramente digital, pueden ser igualmente válidos si han sido recreados a partir de planos con suficiente precisión (fig. 3.41). En todo caso, el volumen es una magnitud métrica escalar que no varía por la naturaleza concreta del material sobre el que se calcule. Así, la cifra calculada hace referencia al espacio que ocupa un cuerpo y no se ve alterada, en ningún caso, por la naturaleza del material que compone un objeto.

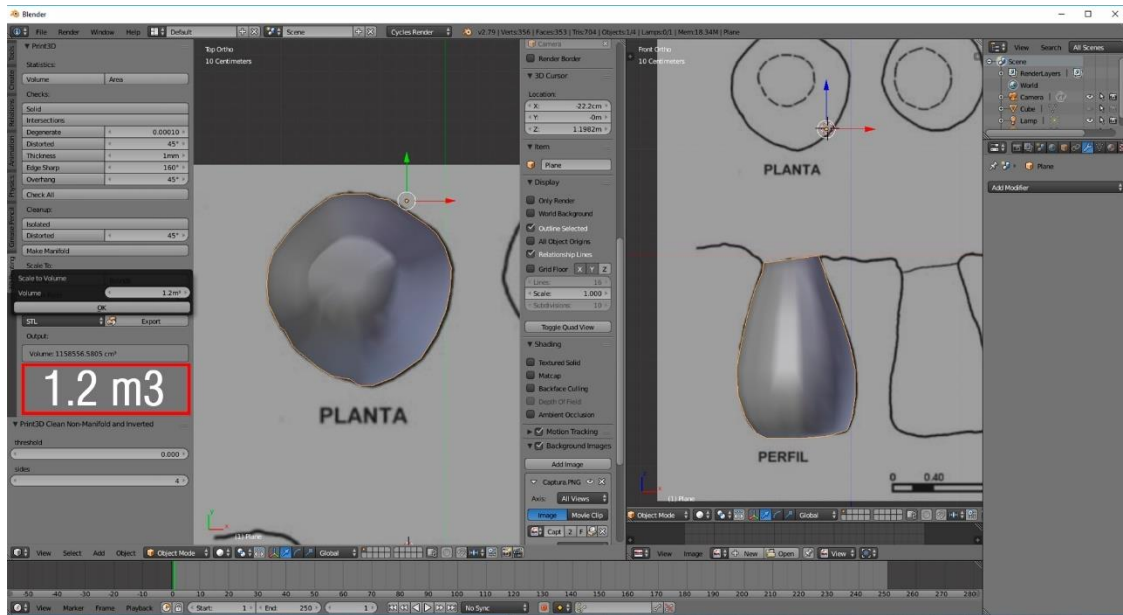


Figura 3.41. Cálculos volumétricos llevados a cabo a partir de las planimetrías previas (Calderón y Hermes, 2005: 113-128) de algunos de los chultunes mayas de los alrededores de la laguna Yaxha (Petén, Guatemala). El objetivo era conocer la cantidad de agua que este tipo de reservorios eran capaces de almacenar.

Este tipo de cálculos pueden llevarse a cabo a través de varias plataformas digitales, cumpliendo unos requisitos mínimos: que la malla digital del modelo 3D esté completamente cerrada y que el objeto en concreto esté pertinentemente escalado. Actualmente, las opciones más recomendables para llevar a cabo este tipo de mediciones son Meshlab y Blender.

Meshlab® (ISTI - CNR, 2008) es un *software* libre dedicado al procesamiento y edición de mallas digitales que permite, entre otras cosas, estimar el volumen de estas estructuras digitales (Cignoni *et al.*, 2008. 131-135). Sin embargo, el programa dejó de actualizarse hace ya varios años, siendo su última versión estable la de diciembre de 2016 (v2016.12).

Esto no implica que el cálculo no sea preciso, pero sí que es cierto que el proceso para su obtención puede resultar algo más complicado.

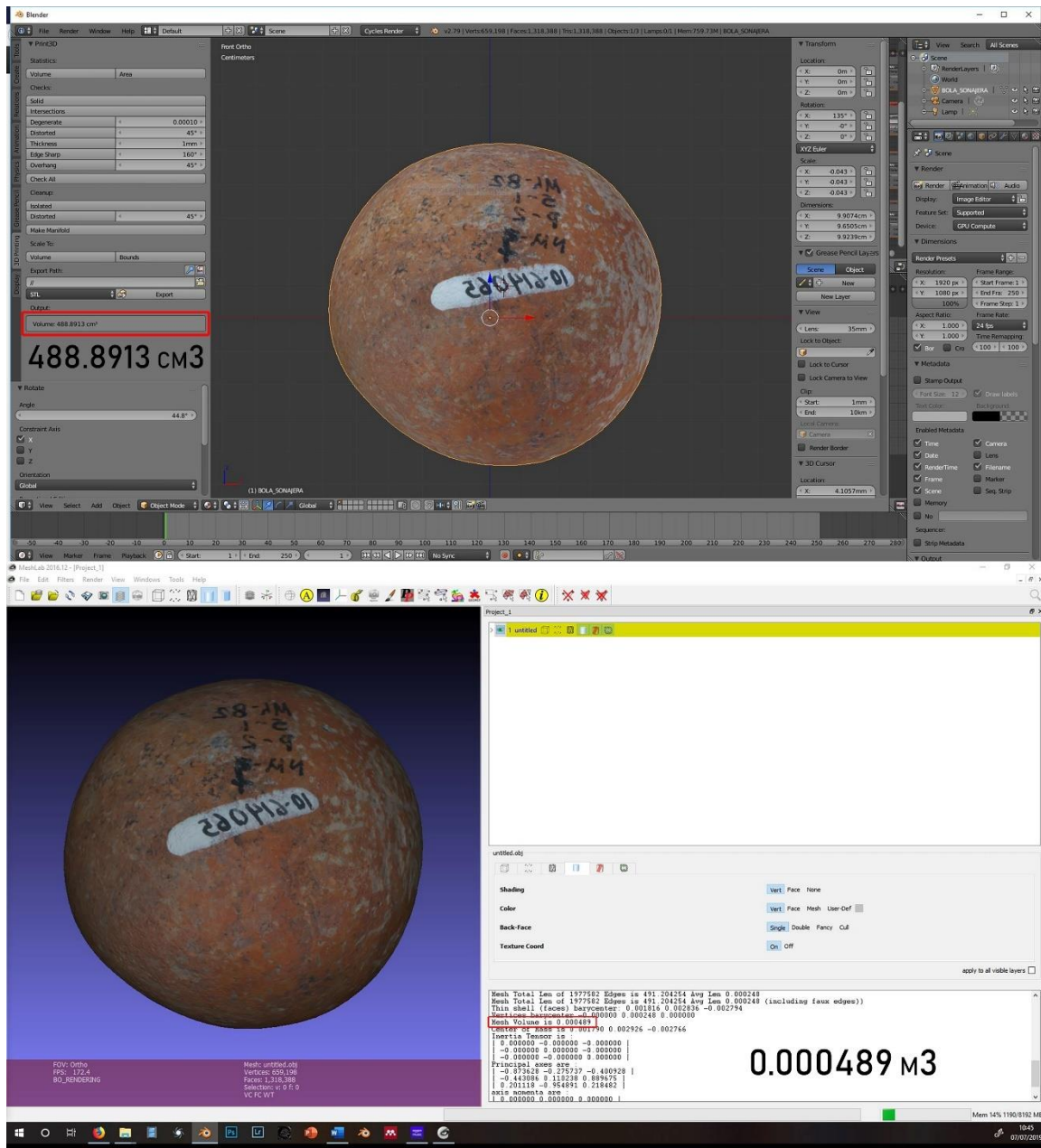


Figura 3.42. Comparativa entre los resultados obtenidos del cálculo volumétrico llevado a cabo en dos plataformas diferentes: Blender (superior) y Meshlab (inferior). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7Lv> [última visita: 29/11/19].

La otra plataforma a través de la cual podemos extraer medidas relativas al volumen de un objeto es, en este caso, el ya mencionado Blender (Blender, 1998: en línea; Roosendaal, 1998: en línea). A diferencia de Meshlab este *software* cuenta con

actualizaciones periódicas, así como con una comunidad de internautas muy activa. Esto permite la aparición de herramientas complementarias que amplían las posibilidades de uso del propio programa. En este caso, con el objetivo de llevar a cabo los cálculos volumétricos sobre mallas digitales, es imprescindible instalar un *plugin* llamado “3D Print Toolbox”. Este *add-on*, como se denomina a las extensiones o complementos añadidos en Blender, está especialmente diseñado para trabajar con impresoras 3D. Su aplicación permite estimar, de una forma muy sencilla, la cantidad de plástico que requiere materializar un modelo 3D.

Por otro lado, con el objetivo de corroborar la exactitud de las cifras y evitar así posibles errores, los procesos de cálculo volumétrico que se presentarán en el capítulo III, se han llevado a cabo de forma sistemática en ambos *softwares*. En todas las comparaciones realizadas las cantidades eran prácticamente idénticas, con algo menos de precisión en el caso de Meshlab, donde la cifra tiende a redondearse (fig. 3.42).

La cifra resultante puede corregirse, de forma adicional, atendiendo a factores externos. En el caso de, por ejemplo, querer calcular el volumen de arcilla empleado para la manufactura de una cerámica cualquiera, habrán de tenerse en cuenta factores como la dilatometría (Picon, 1998: 33-38), ya que el volumen de estos recipientes se vería considerablemente reducido durante el secado y la posterior cocción. Junto a ello, tener en cuenta los posibles fallos en un modelado artesanal, la naturaleza o la composición de la arcilla empleada (Périnet y Courtois, 1983: 157-160) pueden ayudar también a afinar aún más el resultado.

Adicionalmente, aplicados sobre conjuntos extensos esta información puede volcarse de forma posterior en un programa informático de análisis estadístico como es *Statistical Package for the Social Sciences*® (IBM, 1968: en línea; Nie, 1975: 15-250) o *R Software* (Gentleman y Ihaka, 1993: en línea), proporcionando así datos de un mayor interés científico.

3.4.3.3 *Clasificación tipológica a partir de nubes de puntos*

Junto al cálculo volumétrico las características morfológicas y morfométricas de determinadas piezas son otro de los aspectos que pueden ser analizados utilizando como base un modelo fotogramétrico tridimensional.

Tradicionalmente, la morfología y la morfometría han sido uno de los campos más trabajados en la disciplina arqueológica. De entre todas las posibilidades que derivan de este tipo de estudios, los trabajos relativos a la clasificación tipológica de la cerámica a través de su forma han sido, sin duda, algunos de los más recurrentes en la literatura científica de los últimos años (Aranda, 2001: 10-270; Contreras, 1986: 10-1043; Dorado *et al.*, 2015: 258-345; Fernández, 2012: 10-300; Lizcano, 1999: 10-280; ; Moreno, 1993; Vico *et al.*, 2018: 30-51; Fernández, 1988: 10-900; Serrano, 2016: 10-650). A pesar de que el abuso en torno a la creación de clasificaciones cada vez más complejas e irreales ha sido igualmente una realidad prolífica en nuestra disciplina (Maldonado, 2015: 25), es cierto que trazar clasificaciones en base a estos parámetros formales permite generar información cronológica, económica y, en definitiva, histórica sobre yacimientos o culturas específicas.

Con la llegada de las nuevas tecnologías a la Arqueología, se comenzaron a generalizar metodologías clasificatorias de carácter informático, centradas especialmente en los análisis de tipo estadístico (García y González, 2013: 30-47). Sin embargo, la materia prima de la que parten está compuesta usualmente por dibujos o secciones realizadas de forma manual. Como ya hemos visto, existe cierta problemática en torno al trazado y la exactitud de los perfiles adquiridos a partir de métodos tradicionales de dibujo. Con estos fallos de base, el error acumulado puede provocar importantes discordancias que terminan afectando al resultado final. De esta forma, trabajar directamente con modelos realizados mediante fotogrametría puede reducir notablemente el margen de error y aportar datos morfológicos y tipológicos mucho más precisos.

Para la creación de la malla digital de un modelo fotogramétrico, es esencial contar con lo que se denomina comúnmente como nube de puntos densa. La unión por ternas de

los miles o millones de puntos que componen usualmente este conjunto es lo que termina dando solidez al objeto digital. Sin embargo, la geometría específica de nuestra pieza es ya claramente perceptible en este estadio intermedio del flujo de trabajo. A veces incluso, la forma visualizable mediante la nube de puntos densa resulta más compleja y precisa que la propia malla geométrica trazada después.

A día de hoy, existen algunos *softwares* capaces de llevar a cabo comparaciones entre varios de estas estructuras de puntos. Inclusive entre nubes de puntos y mallas digitales. Uno de ellos es CloudCompare® (Girardeau-Montaut, 2003: en línea). Este programa informático gratuito fue desarrollado en 2003 por Daniel Girardeau-Montaut y su última versión estable (la 2.10.2.) fue lanzada el 6 de enero de 2019 (fig. 3.43). CloudCompare proporciona varias opciones de interacción con objetos virtuales entre las que se encuentra la posibilidad calcular las distancias existentes entre dos nubes de puntos o bien entre una nube de puntos y una malla digital. Al cotejar estas estructuras digitales, es posible conocer el grado de semejanza que existe entre ambas en cualquiera de sus partes (Bevan *et al.*, 2014: 253; Brodu y Lague, 2012: 122-132; Lague y Brodu, 2013: 1-15).

Las piezas que se quieran comparar deben ser previamente procesadas. Para ello se debe estandarizar tanto el tamaño como la posición, la orientación y la densidad de las nubes de puntos. Esto puede llevarse a cabo en el *software* con el que se ha realizado el propio modelo fotogramétrico, en el caso de que permita exportar el archivo a formatos como *ASCII PTS* (.pts), *XYZ Point Cloud* (.txt) o *ASPRS LAS* (.las) que permitan cargarlos en CloudCompare.

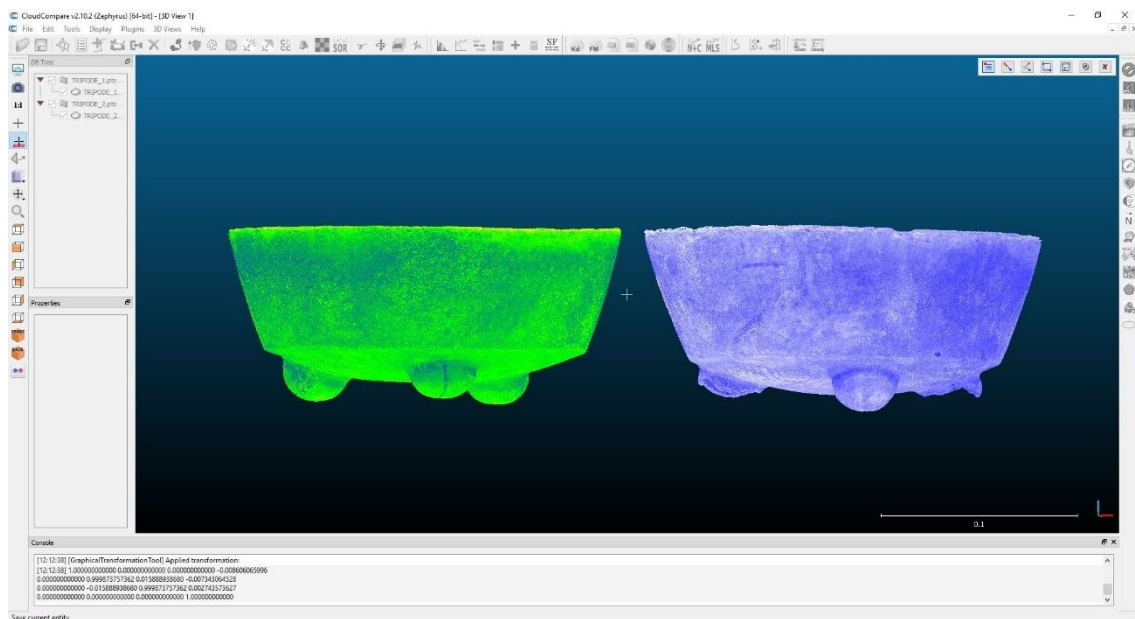


Figura 3.43. Interfaz de CloudCompare junto a dos nubes de puntos obtenidas de los modelos fotogramétricos de dos cuencos trípodes mayas procedentes de la Península de Yucatán (México).

Una vez exportadas, es recomendable dar a las nubes de puntos unas dimensiones idénticas. Esto supone en cierto modo falsear el tamaño de nuestras piezas, sin embargo, esto permitirá una comparación mucho más precisa que se base únicamente en aspectos morfológicos. Este paso puede hacerse dentro del propio CloudCompare, aunque el sistema de escalado que incorpora el *software* es un tanto impreciso. Por este motivo se recomienda realizar el procedimiento en un tercer *software* capaz de interactuar también con nubes de puntos en bruto. En este caso, se decidió emplear Blender donde, de forma manual, adecuamos el tamaño y la orientación de las piezas. Hecho esto, los modelos deben volver a exportarse a alguno de los formatos anteriormente mencionados y, ahora sí, volcados en CloudCompare.

El trabajo en CloudCompare es relativamente sencillo. El primer paso consiste en aproximar ambos objetos, si estos no se solapan completamente en el espacio virtual. Acto seguido se habrán de registrar ambas nubes de puntos, indicando en todo momento cuál de ellas servirá de referencia. Sobre la pieza que elijamos como referencia se generará la posterior comparación. Es recomendable que, en este punto, se ajuste el nivel de árbol octal (*Octree Level*) a ocho, lo que aumentará notablemente la resolución de la representación comparativa.

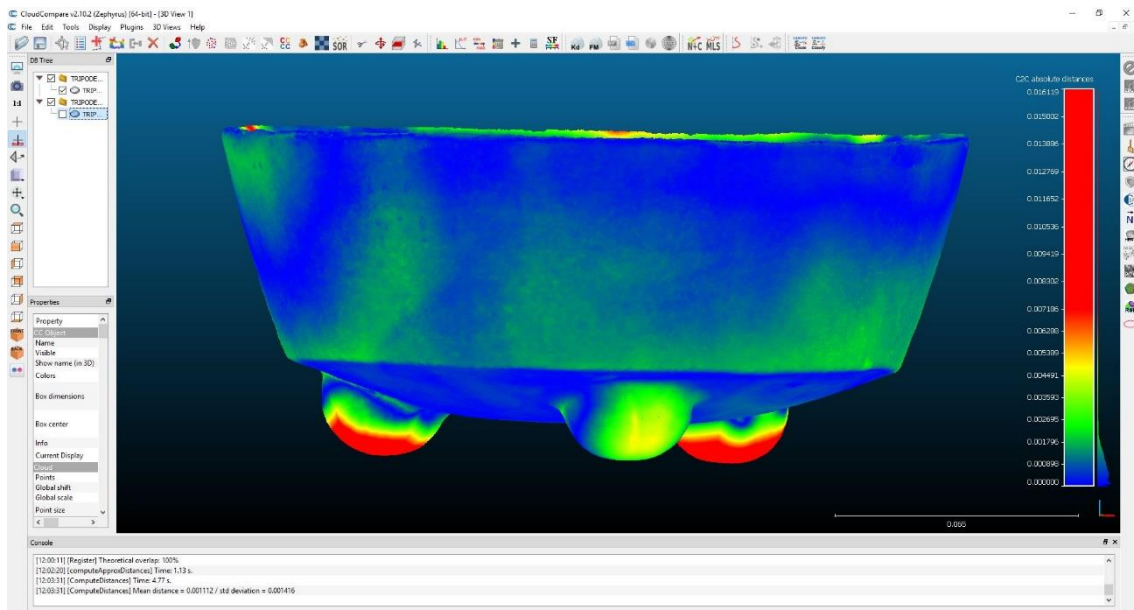


Figura 3.44. Resultados obtenidos de la comparación de ambos trípodes. En este caso las zonas con tonos más cercanos al azul indican una mayor semejanza con respecto al otro modelo. Por el contrario, cuanto más tiende al rojo mayor será la diferencia.

Una vez realizado esto, el programa iniciará los cálculos necesarios. Los resultados del análisis son una combinación de información alfanumérica y gráfica, que puede ser visualizada de forma interactiva a través de un modelo 3D, lo que permite inspeccionar de forma detallada todas las partes de la pieza. La información gráfica se plasma mediante una escala cromática, donde los tonos cálidos indican las partes en las que el *software* encuentra una mayor diferencia y los tonos más fríos aquellas zonas donde existe un mayor grado de semejanza entre los dos elementos comparados. Todo ello está perfectamente referenciado con una leyenda gráfica en la que se indica la distancia absoluta atribuida a cada color (fig. 3.44).

En suma, la aplicación en arqueología de análisis comparativos de nubes de puntos extraídas de modelos fotogramétricos proporciona interesantes posibilidades. En especial, el uso de CloudCompare resulta ser bastante útil.

Esta herramienta puede emplearse de forma puntual como apoyo a una clasificación de tipo manual, con el objetivo de corroborar la tipología de aquellos elementos más difíciles de adscribir. Si bien, también pueden llevarse a cabo comparaciones sistemáticas en grandes colecciones, acompañando el análisis en CloudCompare con

algún tipo de base de datos y algún algoritmo capaz de procesar los datos de forma efectiva. Aunque el proceso podría agilizarse incorporando algún algoritmo específico que lo automatizase, trazar un sistema comparativo de estas características sería un trabajo ingente que supondría una importante inversión de tiempo, equipamiento y personal.

Junto a ello, CloudCompare se convierte en un *software* idóneo para el monitoreo de los bienes patrimoniales. Realizando levantamientos fotogramétricos periódicos de un mismo elemento es posible comparar las nubes de puntos y verificar su evolución a lo largo del tiempo. Esto nos permite controlar, por ejemplo, su nivel de deterioro pudiendo así tomar medidas preventivas si fuese necesario.

3.4.4 *Reflectance Transformation Imaging* de tipo virtual

En el registro arqueológico existen detalles difícilmente apreciables a través de nuestro espectro de visión. A escala macroscópica, las limitaciones del ojo humano como instrumento de análisis preciso son un hecho más que evidente. Numerosas condiciones externas al propio ser humano como son las condiciones ambientales, la ubicación o el estado de conservación, por mencionar solo algunas, impiden percibir correctamente un objeto determinado en una circunstancia concreta.

Desde hace ya algunos años, en Arqueología vienen implementándose procedimientos y herramientas capaces de optimizar, o al menos asistir, la visualización de algunos de estos bienes patrimoniales. Son numerosas las técnicas que desde entonces se han ido desarrollando en un intento por superar la escala normal de percepción visual. Un hecho este que reduce la información que habitualmente se pasa por alto en una investigación arqueológica.

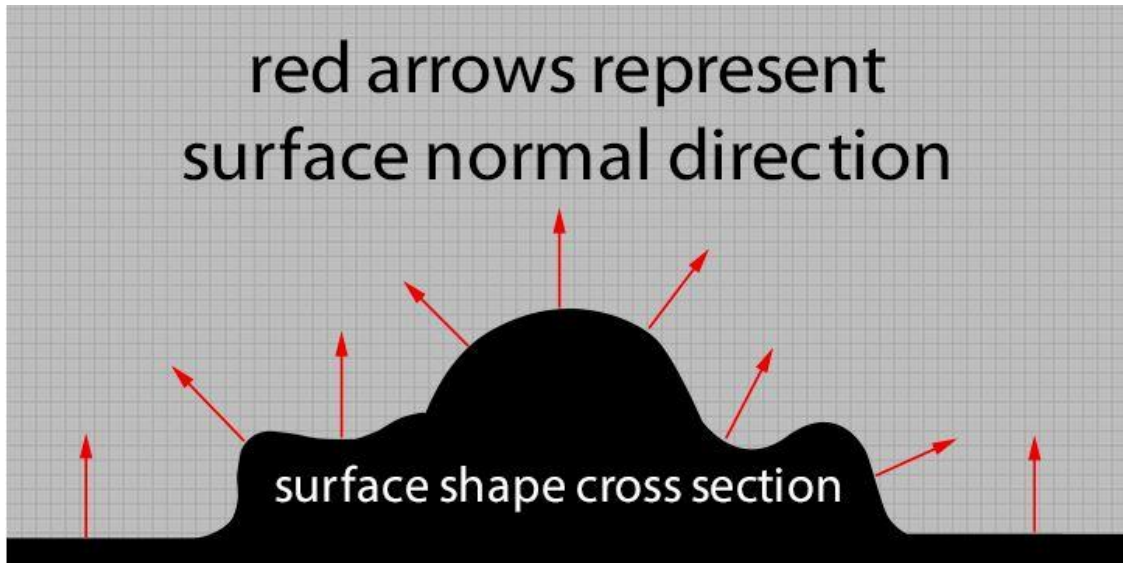


Figura 3.45. Superficie tridimensional donde se indica la dirección de sus vectores de normales (flechas en rojo). Recuperado de: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/Spanish/index.html> [última consulta: 22/10/2019].

En este marco tan concreto aparece la denominada como *Reflectance Trasformation Imaging* (RTI), denominada en un principio como *Polynomial Texture Mapping* (PTM). Este método de fotografía computacional fue desarrollado por Tom Malzbender y Dan Gelb (Malzbender *et al.*, 2001: 520-526) hace menos de dos décadas en el seno de la empresa estadounidense Hewlett-Packard (HP). Conocida previamente como *Polynomial Texture Mapping* (PTM) esta técnica, al igual que la fotogrametría *SfM*, permite generar información tridimensional a partir de imágenes bidimensionales. Sin embargo, a diferencia de esta, la cámara permanece aquí en una posición fija y los elementos que varían en cada fotografía son la proyección y el ángulo de incidencia de una fuente de luz artificial que se aplica de forma externa y manual.

Matemáticamente hablando, en una superficie tridimensional la dirección perpendicular al plano tangente de una ubicación concreta se representa mediante un vector conocido como “normal” (figs. 3.45 y 3.69). En diseño 3D, la normal se utiliza frecuentemente para determinar cómo se reflejarán los rayos de luz en la superficie de la geometría 3D. De esta forma, es posible, entre otras cosas, imitar el comportamiento de esta y dar así una falsa sensación de geometría en modelos *lowpoly* o de baja resolución.

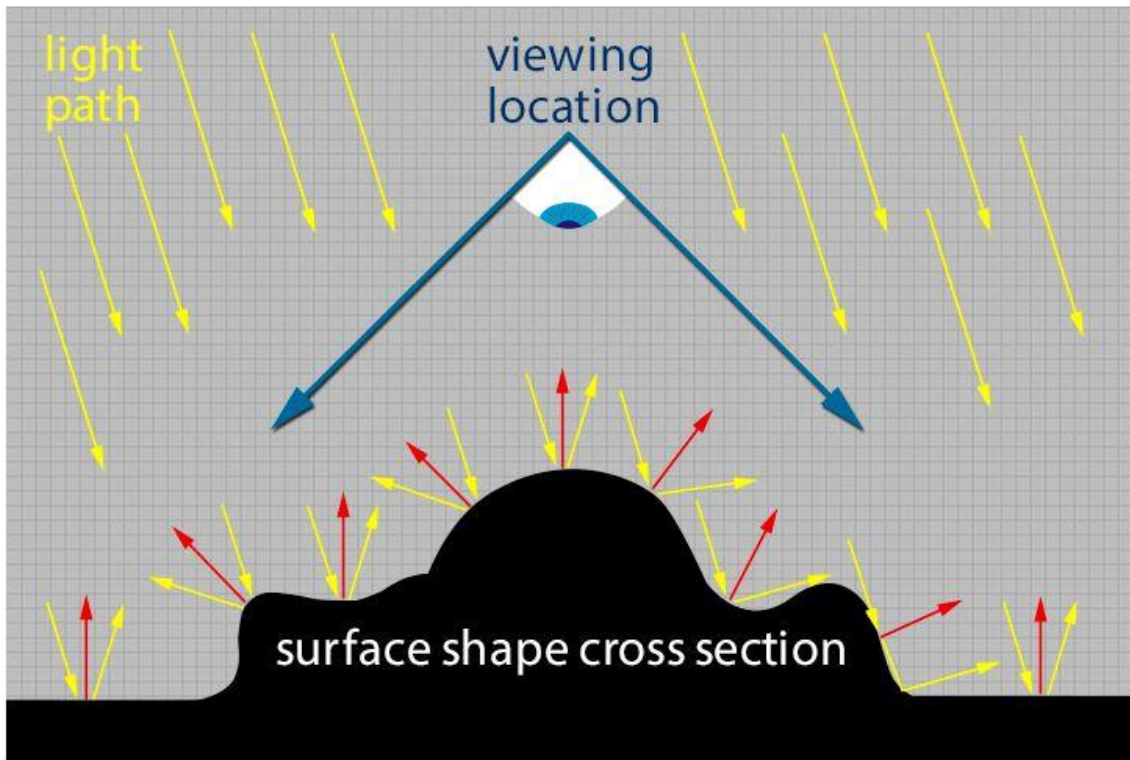


Figura 3.46. Trayectoria y comportamiento de la luz sobre una superficie tridimensional (flechas en amarillo). Dirección de los vectores normales (flechas en rojo). Recuperado de: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/Spanish/index.html> [última consulta: 23/10/2019].

Cuando una fuente de luz es proyectada sobre la superficie de un objeto determinado, esta rebota de tal forma que su ángulo de incidencia y de reflexión son prácticamente idénticos a los del vector normal (fig. 3.46). Durante el proceso de adquisición de datos en RTI, esta descripción matemática de la normal se guarda en cada píxel de nuestras imágenes junto con la información relativa al color RGB. Un *software* de RTI es capaz de obtener esta información tridimensional de un formato 2D como es una fotografía y generar así un modelo interactivo donde se puede volver a iluminar la escena (fig. 3.47). Lo que conseguimos así es simular la reflectancia y las condiciones lumínicas presentes en el mundo real, pero controlando en todo momento la dirección e incidencia de estas (Dedík y Minaroviechh, 2017: 591-604; Earl *et al.*, 2010: 2041-2048; Giachetti *et al.*, 2015: 1-8; Gilewski, 2015: 134-142; Kotoula y Kyranoudi, 2013: 75-86; Malzbender *et al.*, 2001: 520-526; Mathys *et al.*, 2013: 201-204; Miles *et al.*, 2014, 2015: 145-162; Mudge *et al.*, 2005: 30-38; Mudge *et al.*, 2006: 196-200; Piquette, 2011: 16-20). Gracias a esta manipulación virtual de la luz, se limitan los problemas de pérdida de datos asociados al

ensombrecimiento o la reflexión especular de algunas piezas, siendo posible así detectar detalles muy sutiles de la superficie de un objeto (Mudge *et al.*, 2005: 37).

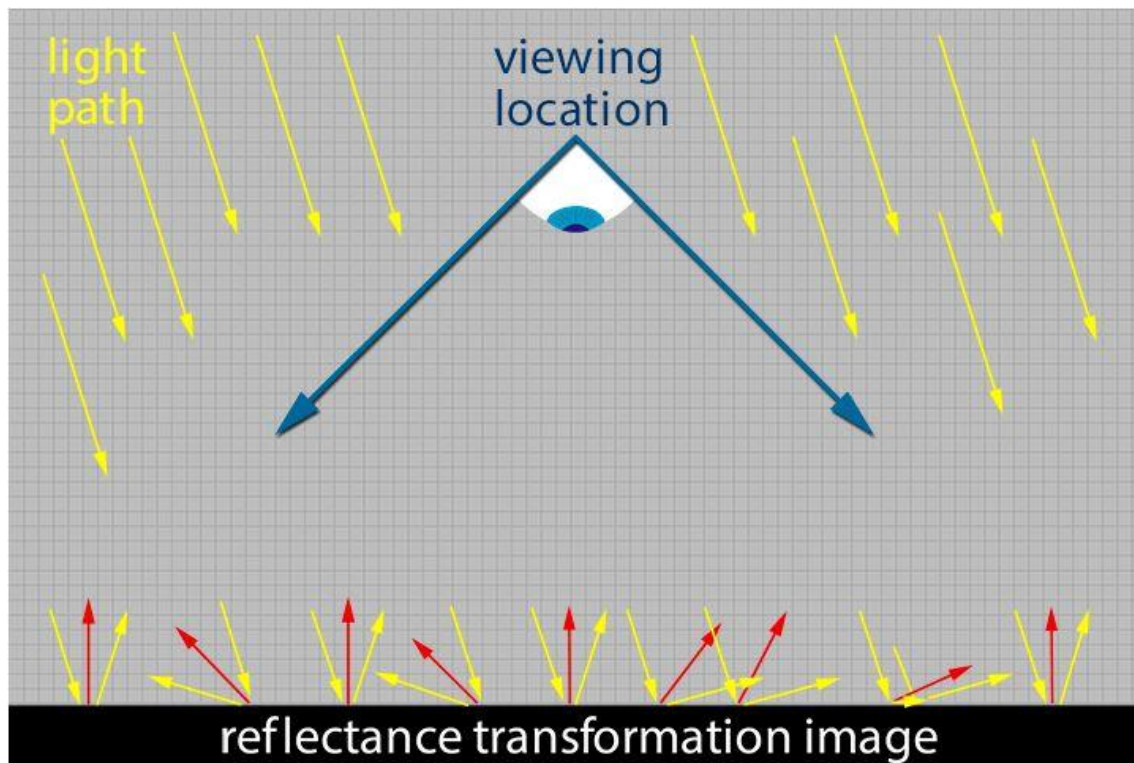


Figura 3.47. Trayectoria y comportamiento de la luz (flechas en amarillo) y vectores normales (flechas en rojo) sobre una superficie bidimensional como la generada por un modelo interactivo de Reflectance Transformation Imaging. Recuperado de: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/Spanish/index.html> [última consulta: 22/10/2019].

Los primeros programas desarrollados por Tom Malzbender y Dan Gelb para Hewlett-Packard fueron escritos en código libre y abierto (C ++), lo que permitió a la larga seguir optimizando el *software* y crear versiones mejoradas en otros lenguajes de programación como Java. No obstante, desde hace ya algunos años, este tipo de *softwares* informáticos han dejado de ser actualizados, por lo que las versiones que actualmente se emplean resultan poco intuitivas y complejas de usar.



Figura 3.48. Método tipo Domo de captura de imágenes para *Reflectance Transformation Imaging*. Este emplea una cúpula o domo compuesta por decenas de luces y cuyas posiciones y ángulo de incidencia son siempre las mismas y están recogidas por un dispositivo informático. Imagen obtenida de: (Dedík y Minaroviechh, 2017: 598).

Aunque el producto final de la *Reflectance Transformation Imaging* es siempre un modelo virtual de reiluminación, existen algunas diferencias en torno a la captura y el procesado de las imágenes. En primer lugar, existe la variante conocida como tipo “*Dome Method*” (Dedík y Minaroviechh, 2017: 598). Este método de adquisición de fotografías emplea una cúpula o domo compuesta por decenas de luces cuyas posiciones y ángulo de incidencia son siempre las mismas (fig. 3.48). En este caso, su ubicación está perfectamente determinada y compilada en un archivo de posición que puede volcarse en el programa informático empleado (Kotoula y Kyranoudi, 2013: 77-78). De esta forma, no es necesario añadir a la escena elementos adicionales que indiquen al *software* la dirección de la que proviene la luz. La cámara a través de la cual se obtienen las fotografías permanece, eso sí, en una posición fija cenital.

El segundo método, denominado como “*Highlight Method*” (fig. 3.49), fue desarrollado por la Universidad de Minho en colaboración con *Cultural Heritage Imaging* (CHI, 2016:

2-30). En este caso no existe una cúpula física de luces, sino que es el propio usuario el que ajusta manualmente la iluminación desde diferentes posiciones. La cámara, al igual que ocurría en el método del domo, se encuentra fija en una posición perfectamente cenital. A grandes rasgos, la dinámica similar a la del domo, pues las distintas direcciones de la fuente de luz externa buscan trazar círculos ficticios a diferentes alturas alrededor de la pieza objetivo (fig. 3.50). La principal diferencia con respecto a la técnica del domo es que, dado que no se conoce de forma previa la posición de las distintas fuentes de iluminación que vamos a emplear, se ha de colocar un elemento de apoyo en la escena. Concretamente dos esferas metálicas capaces de reflejar la dirección de la luz. A través de estas esferas el programa detecta la incidencia y la posición de la luz en cada fotografía y crea un modelo interactivo que podemos re-iluminar.



Figura 3.49. Método tipo Highlight de captura de imágenes para Reflectance Transformation Imaging. Imagen obtenida de: Método tipo *Highlight* de captura de imágenes para *Reflectance Transformation Imaging*. Imagen obtenida de: (AA.VV., 2013: 9).

A pesar de que el método del domo supone una mayor automatización del proceso y unos resultados mucho más precisos, su aplicación implica el desarrollo de una cúpula específica para el tamaño de cada elemento que se quiera digitalizar. Esto es un hándicap muy importante pues restringe notablemente sus posibilidades de uso, a la

par que encarece el proceso de captura. El otro método propuesto es algo más tedioso e impreciso en su aplicación, pero permite capturar datos independientemente del tamaño de los objetos. Es precisamente por esta mayor flexibilidad de uso que, esta última, es la variante más extendida de las dos.

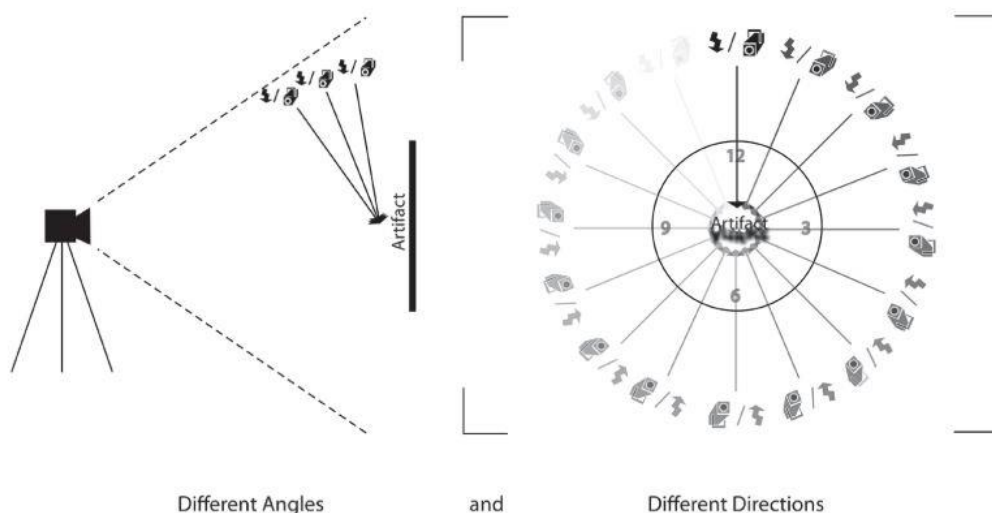


Figura 3.50. Infografía realizada por Gilewski (2015: 138) donde se detallan los diversos grados de inclinación y las diferentes direcciones en que ha de orientarse la fuente de luz durante la captura de Reflectance Transformation Imaging mediante el método Highlight.

Independientemente de la variante empleada, esta técnica ha sido aplicada con bastante éxito en contextos y elementos patrimoniales muy variados (Earl *et al.*, 2011: 148-152). A través de *Reflectance Transformation Imaging* se han analizado papiros egipcios (Piquette, 2011: 17-18), monedas romanas (Dedík y Minaroviechh, 2017: 591-604; Kotoula y Kyranoudi, 2013: 75-86), objetos de mediano y gran tamaño (Dellepiane *et al.*, 2006: 180-184) o arte rupestre (Carrero-Pazos *et al.*, 2016: 106-117; Vázquez Martínez *et al.*, 2015: 18-22). Existen incluso, a día de hoy, algunas líneas de investigación que tratan de aplicarlo a un nivel prácticamente microscópico (Cosentino, 2013: 71-84). El uso de esta técnica se ve igualmente favorecido por el hecho de que los dos programas más utilizados para generar y visualizar este tipo de modelo, RTIBuilder® (CHI, 2013b) y RTIViewer®(CHI, 2013c), pueden conseguirse de forma totalmente gratuita.

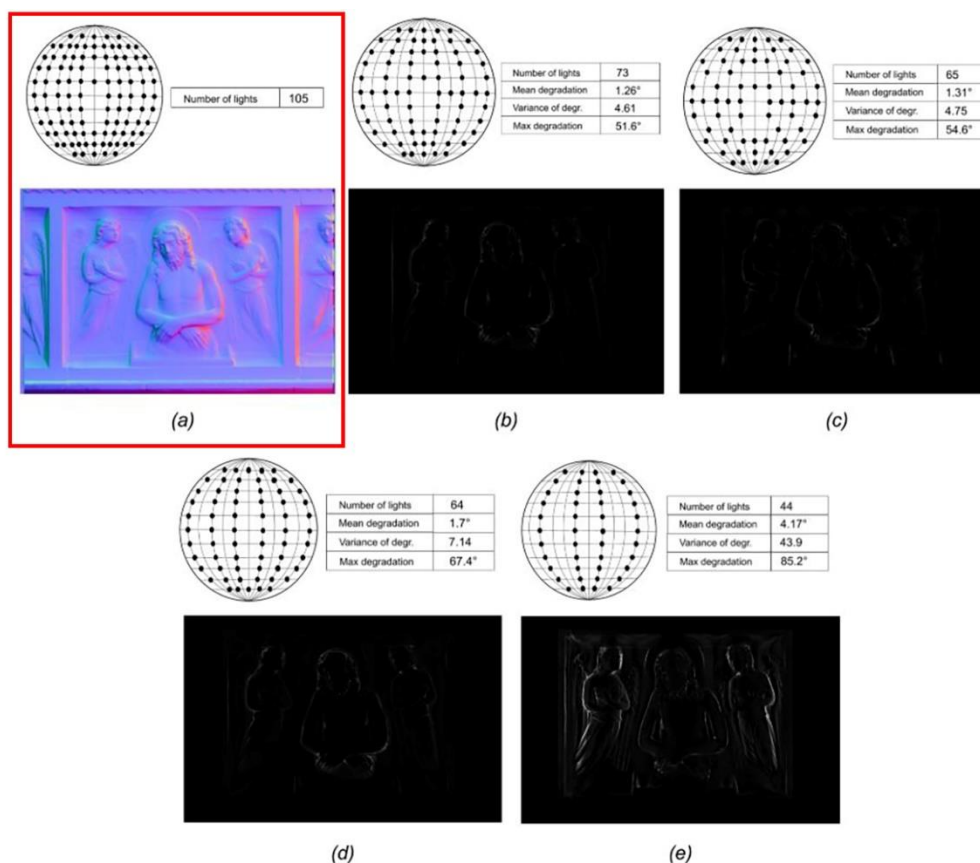


Figura 3.51. Infografía realizada por Dellepiane *et al.* (2006: 185) donde se detalla el número de fotografías, así como los diversos grados de inclinación y direcciones en que ha de orientarse la fuente de luz durante la captura de *Reflectance Transformation Imaging* mediante el método Highlight para obtener un resultado de calidad. De entre las 5 variantes, los autores determinaron que el primer caso (compuesto por 105 fotografías) era con el que se obtenían los mejores resultados.

Sin embargo, no todo son ventajas. El enorme potencial de esta técnica de digitalización se ve ensombrecido en parte por la existencia de importantes limitaciones. La principal, de ellas, deriva directamente de la estricta rigidez que implica su aplicación en ambas variantes. En el método del domo, las limitaciones son más que evidentes y están circunscritas por la necesidad de desarrollar una cúpula específica adaptada a las dimensiones de cada objeto. Ello hace prácticamente inviable su aplicación sobre elementos de gran tamaño. En el caso del procedimiento estándar de adquisición de imágenes a través del “*Highlight Method*”, la inflexibilidad, aunque menor, es también más que evidente. El dispositivo encargado de capturar los datos, habitualmente una cámara DSLR estándar, debe permanecer fija durante todo el proceso. De hecho, la más mínima variación puede suponer un importante detrimento de la calidad final del modelo digital. Del mismo modo, el procesamiento de los datos mediante RTIbuilder,

un *software* potente pero bastante inestable, requiere una secuenciación de los pasos bastante estricta. En efecto, la escasa flexibilidad de esta técnica, limita considerablemente su espectro de uso, haciendo inviable, o muy complicada, su aplicación en elementos o superficies amplias o de difícil acceso.

Al fin y al cabo, todo se traduce en una cuestión meramente temporal. Como ocurre con otras técnicas de documentación tridimensional, la difusión de esta técnica se ve limitada en parte por la necesidad de invertir una gran cantidad de tiempo en cada modelo.

La llegada de la fotogrametría *Structure from Motion* quizá supone, a este respecto, un fuerte revulsivo dentro de aquellas dinámicas metodológicas que, como la *Reflectance Transformation Imaging*, tratan de optimizar la visualización del registro arqueológico. Como se verá a lo largo de esta tesis doctoral, la combinación de RTI y fotogrametría *SfM* conlleva una reducción sustancial de las carencias y desventajas presentes en cada una de ellas.

3.4.4.1 En torno al uso combinado de *Reflectance Transformation Imaging* y fotogrametría

La aplicación del RTI tradicional, como acabamos de ver, conlleva algunas limitaciones destacables. Las más importantes, la necesidad de contar con un material muy específico para poder llevarla a cabo o la rigidez que implica su aplicación en campo, pueden ser fácilmente superadas. Esto es posible gracias a la aplicación de un flujo de trabajo específico capaz de compaginar la filosofía inherente en las técnicas tradicionales de *Reflectance Transformation Imaging*, con otras técnicas de digitalización como la fotogrametría *SfM* o las herramientas de modelado y edición 3D. A esta combinación se la conoce como RTI virtual (Caine *et al.*, 2019: 98-103; Carrero-Pazos *et al.*, 2016: 106-117; Torregrosa-Fuentes *et al.*, 2018: 115-122) y, a diferencia de técnica habitual permite obtener imágenes digitales sintéticas o renderizados a través de un *software* determinado, produciéndolas enteramente a través de algoritmos (Gómez, 2017: en línea). Esto es posible al trabajar en un escenario íntegramente digital,

donde el grado de manipulación es tan grande que nos permite unificar las dos variantes de *Reflectance Transformation Imaging*, aprovechando así las principales ventajas de cada una de ellas.

Existen diferentes formas de aplicar esta técnica informática, no obstante, el resultado final es prácticamente idéntico. Para ello es imprescindible algún *software* capaz de simular la física de la luz y que permita además un alto grado de manipulación de esta en aspectos como su orientación, ubicación o intensidad. Junto a ello, la plataforma digital elegida debe ser capaz de renderizar imágenes de calidad del objeto con cierto grado de automatización. Del mismo modo, a través de Blender es posible, entre otras muchas cosas, simular de forma realista el comportamiento de la luz (Cornetto y Suway, 2019: 2-9).

3.4.4.2 *La creación del escenario digital en Blender*

El primer paso, consiste en crear una infraestructura digital en Blender. Lo primero que se necesita es disponer tantas fuentes de luz como fotos queramos usar para crear nuestro modelo *Polynomial Texture Mapping*. En nuestro caso, basándonos en trabajos previos de RTI convencional (Dellepiane *et al.*, 2006: 185; Gilewski, 2015: 138), y solo tras experimentar con varios modelos, establecimos una cantidad ideal de entre 106 y 115 puntos de luz para crear un modelo de RTI virtual de calidad. Todas estas fuentes de luz se despliegan sobre cada uno de los vértices de una estructura muy similar a la cúpula física empleada en el *Dome Method* (figs. 3.48 y 3.52). Sin embargo, en este caso se encuentra construida en un entorno completamente virtual, por lo que no supone ningún coste de material y además puede adaptarse fácilmente para adecuarla al tamaño de cada modelo tridimensional. Para que la técnica sea lo más precisa posible, se debe emular el mismo tipo de luz que se emplea habitualmente en el procedimiento tradicional del *Highliht*. A este respecto, Blender proporciona un alto grado de parametrización. De esta forma, cada una de estas fuentes de luz se ajustó fijando unos valores idénticos. A saber, un tamaño de 48 cm, una fuerza de 11 unidades, una tonalidad blanca y una capacidad de rebote de 1024.

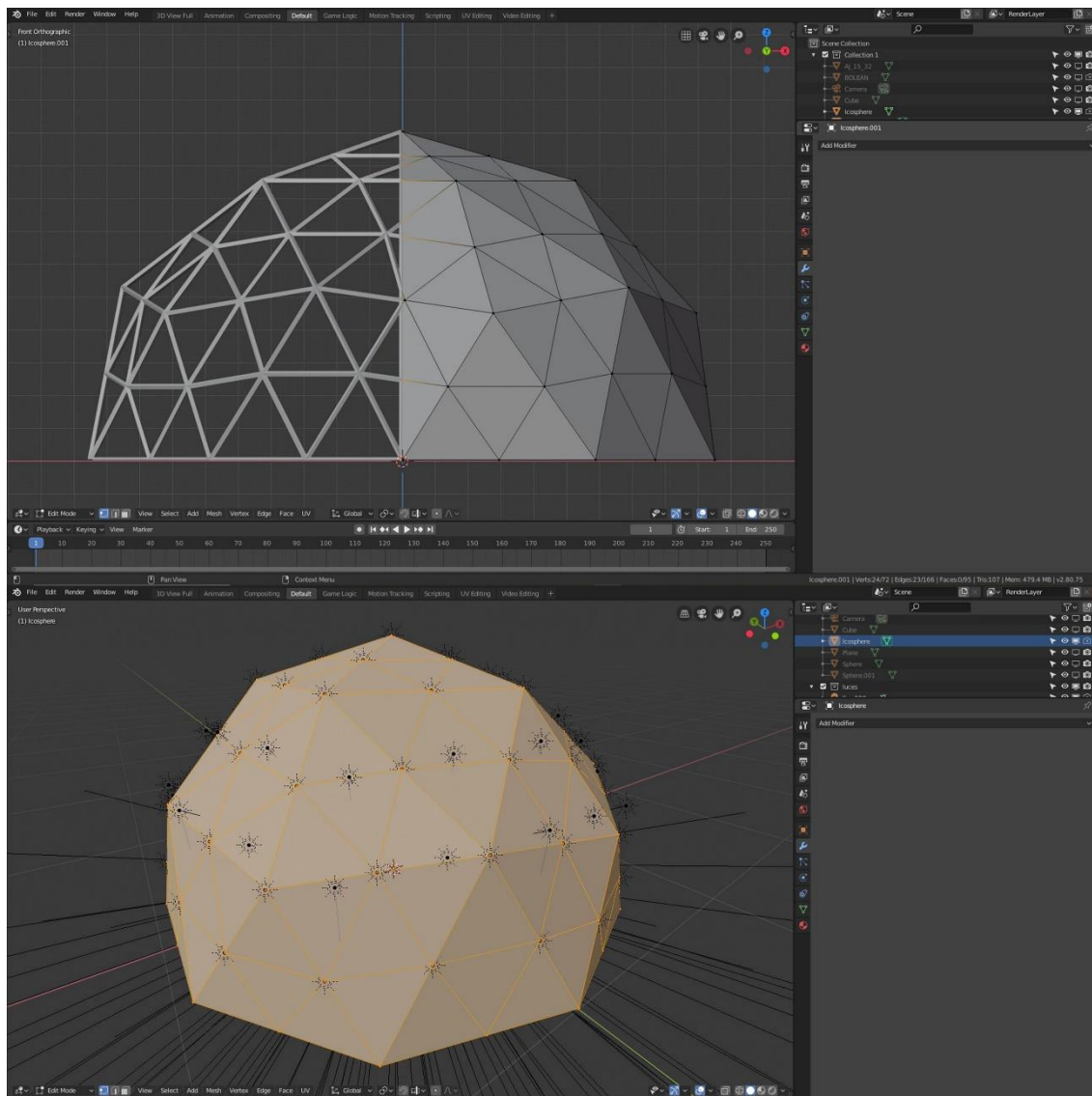


Figura 3.52. Creación de una cúpula digital en Blender (superior). Asignación de los 106 puntos de luz a cada uno de los vértices de la cúpula (inferior). Este proceso se realiza de forma automática.

Junto a esta semiesfera de luces que envolverá nuestro modelo, debemos incorporar también las dos esferas metálicas necesarias para la aplicación del RTI tipo *Highlight* (Kotoula y Kyranoudi, 2013: 76; CHI, 2016: 2-30) y que determinarán el ángulo de incidencia de cada uno de los puntos de luz. Para la creación de esta especie de canicas, se desarrolló un árbol de nodos de textura capaz de emular la apariencia y el efecto de reflexión lumínica que posee el metal real (figs. 3.53 y 3.59). Este paso es muy importante, ya que la superficie de la esfera debe reflejar de forma totalmente realista

la luz que se proyecta sobre ella en cada una de las imágenes que usaremos posteriormente. De otra forma, el procesado en el *software* específico de *Reflectance Transformation Imaging* sería inviable.

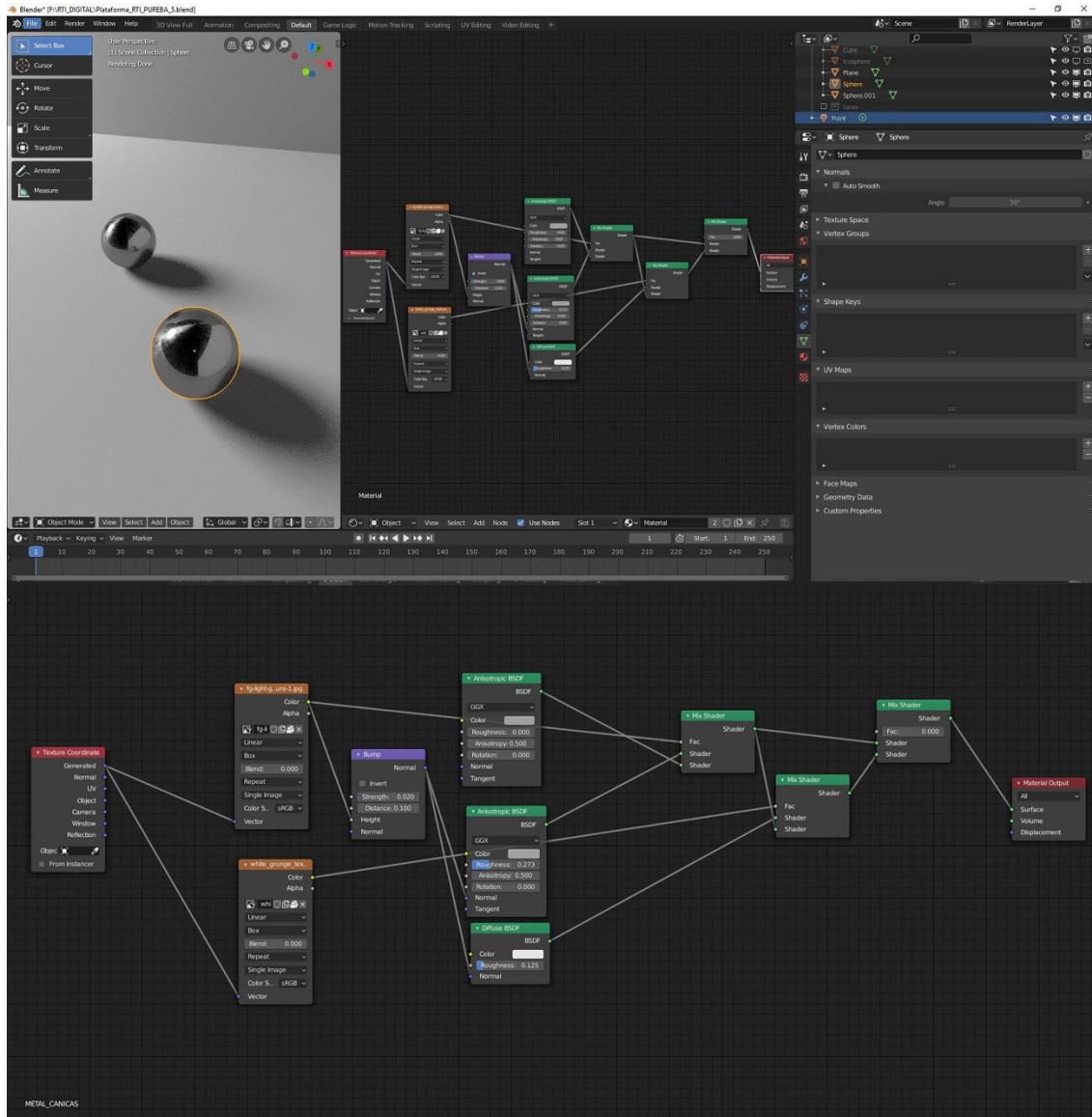


Figura 3.53. En la parte superior, proceso de creación de las esferas metálicas. En la parte inferior, detalle del sistema de nodos empleado en Blender para dar una apariencia realista a la superficie metálica de ambas bolas. De esta forma, se consigue emular el comportamiento y reflexión de la luz en la superficie de las esferas.

Una vez creada, toda esta infraestructura digital puede reutilizarse y, como hemos visto, adaptarse a la geometría de cualquier tipo de modelo fotogramétrico que se quiera importar a Blender. Todo ello, reduce considerablemente los costes de tiempo del procedimiento.

Al trabajar con entornos y modelos completamente digitales, superamos las principales desventajas asociadas al RTI tradicional, la extrema rigidez que supone su aplicación en campo, lo que supone en algunos casos la imposibilidad de aplicarlo en determinados elementos y situaciones. Por tanto, al ser capaces de adaptar con total libertad el modelo 3D al escenario que hemos prediseñado, podemos manipular la escala a nuestro antojo o eliminar partes sobrantes que entorpezcan la aplicación de la técnica. Al mismo tiempo, la textura original de la réplica fotogramétrica puede ser modificada, potenciando así algunos rasgos imperceptibles y mejorando los resultados del propio RTI.

Una vez adaptada la infraestructura digital a una réplica fotogramétrica específica (fig. 3.54), solo tenemos que ajustar los parámetros de salida de nuestros renderizados. Para conseguir unas imágenes digitales de síntesis (IDS) con una calidad suficiente es recomendable, en primer lugar, aplicar tanto una resolución suficiente. Aunque esta dependerá de la forma de cada modelo, el lado más pequeño nunca debe tener menos de 3000 píxeles. Junto a la resolución, los *samples* deben ajustarse de forma correcta. Los *samples* son el ruido que aparece cuando la escena se está renderizando. Cuantos más *samples*, más clara, pero más pesada será la imagen. De forma opcional se podrán regular otros aspectos como el *clamp direct*, el *clamp indirect* o el *dnoiser* para mejorar aún más el acabado del renderizado.

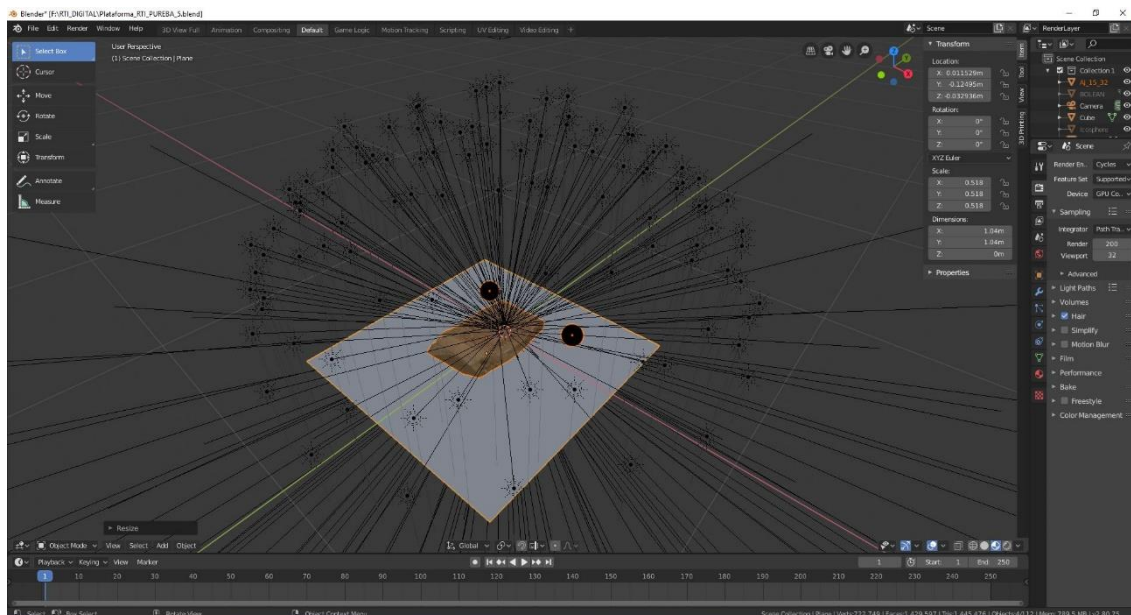


Figura 3.54. Escenario de RTI virtual completo y adaptado a una pieza concreta. En este caso, el objeto utilizado como prueba fue el molde de los Villares de Andújar AJ1532.

3.4.4.3 Comando de Automatización

En el procedimiento tradicional para generar una modelo de *Reflectance Transformation Imaging* el investigador ha de tomar manualmente cada una de las fotografías que compondrán, a posteriori, dicho proyecto. Uno de los principales atractivos del RTI virtual es, precisamente, el grado de automatización que proporciona en esta fase de captura de datos. Al trabajar con material digital, esto se consigue mediante la incorporación de una línea de comandos capaz de generar una acción consecutiva que se repita, de forma completamente automática, un número de veces predeterminado.

```

import bpy, bgl, blf, sys, datetime, os, datetime

now = datetime.datetime.now()
blenddir = bpy.path.abspath("//")
nowDir = os.path.join(blenddir, now.strftime("%Y-%m-%H:%M"))
os.makedirs(nowDir, exist_ok=True)

print("Storage directory", blenddir)

firstScene = bpy.data.scenes[bpy.data.scenes.keys()[0]]

lampNumber = 0
# Turn the lamps off
for obj in bpy.data.objects:
    If ( obj.type == 'LAMP'):
        obj.hide_render = True
        lampNumber += 1

print( str(lampNumber) + " Lamps hidden")

# Turn the lamps on one by one
# and render out a picture
for obj in bpy.data.objects:
    if ( obj.type == 'LAMP'):
        print (obj.name)
        obj.hide_render = False
        firstScene.render.image_settings.file_format = 'JPEG'
        firstScene.render.filepath = os.path.join(nowDir, 'lamp_' + str(obj.name))
        # Render and store the scene
        bpy.ops.render.render( write_still=True )
        obj.hide_render = True

```

Figura 3.55. Línea de comandos desarrollada por el autor en lenguaje Python y compatible con la versión 2.79 de Blender. Empleándolo, permite automatizar el proceso de captura de los renderizados para la posterior elaboración del modelo de *Reflectance Transformation Imaging*.

Cuando se tiene preparado todo el escenario digital y ajustados los parámetros de salida de nuestras imágenes, se importa a Blender el comando. En este caso, la acción ejecutable se encuentra almacenada en un archivo de órdenes en formato de texto plano (*.txt*). Este *scrip* basado en Python (Van Rossum, 1995: 1-71, 2007: 20-26) un lenguaje de programación totalmente compatible con el *software*, desencadena una operación automática que extrae renderizados del objeto variando la posición, inclinación e incidencia de la fuente de luz (fig. 3.55). Aunque el proceso total requiere de varias horas de renderizado, el objetivo final es reducir al mínimo la interacción humana.

En efecto, la automatización del proceso mediante una acción programada posibilita generar, con un mínimo esfuerzo adicional, un producto derivado de la réplica fotogramétrica que ya se posee y cuyo potencial como fuente de información científica *per se* es prácticamente indiscutible.

Llevar a cabo modelos de *Reflectance Transformation Imaging* a partir de modelos fotogramétricos supone, no obstante, un tiempo de renderizado que quizás puede resultar excesivo. Incluso con equipos informáticos potentes como el empleado para esta tesis, producir imágenes con calidad suficiente puede llevar varias horas. Y no solo eso, sino que este procedimiento consume además la práctica totalidad de los recursos del *hardware*. Este obstáculo puede ser mitigado en parte si se gestionan correctamente los tiempos de trabajo.

3.4.4.4 RTBuilder y RTViewer

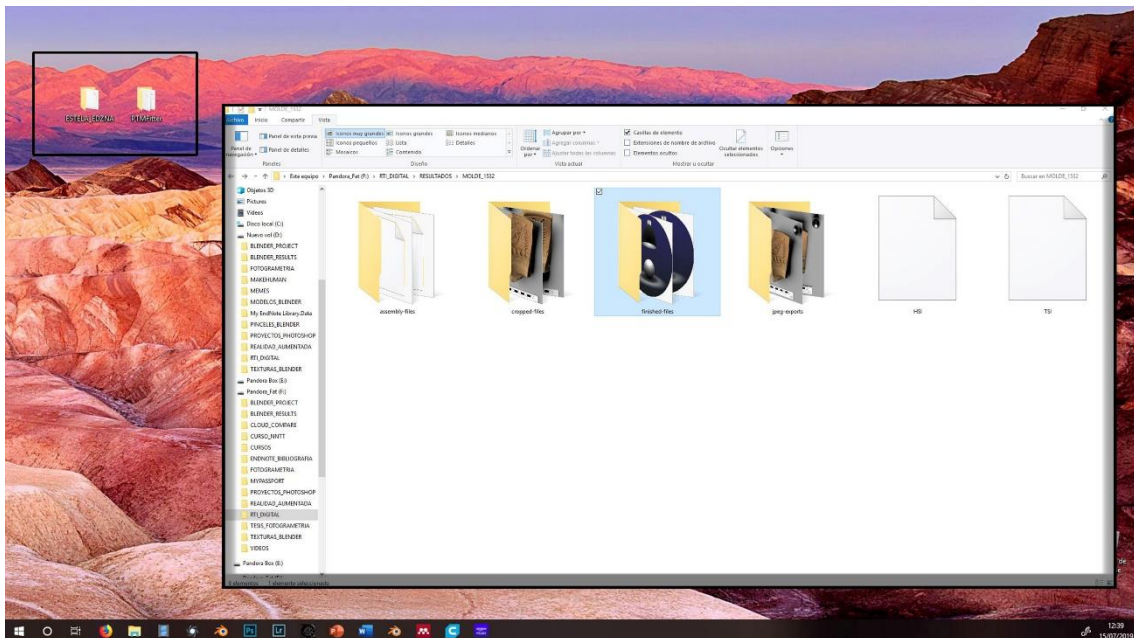


Figura 3.56. Ubicación y distribución del sistema de carpetas necesario para un proyecto de *Reflectance Transformation Imaging*.

La metodología, una vez producidas las imágenes en Blender, sigue la misma dinámica que el método tradicional de *Highlight*. Para ello, se emplea RTBuilder® (CHI, 2013b) el *software* que nos permitirá obtener nuestro modelo final de *Polynomial Texture Mapping* (CHI, 2016: 2-30).

El funcionamiento de este programa, como ya se ha comentado, es teóricamente sencillo, pero algo inflexible en la práctica. Por este motivo, la secuenciación de los pasos debe de ser rigurosa. En primer lugar, los 106 archivos de imagen se colocan en un

conjunto de carpetas ubicado en nuestro escritorio. Junto a este sistema de carpetas, se sitúa un ejecutable denominado “PTMfitter” (fig. 3.56).

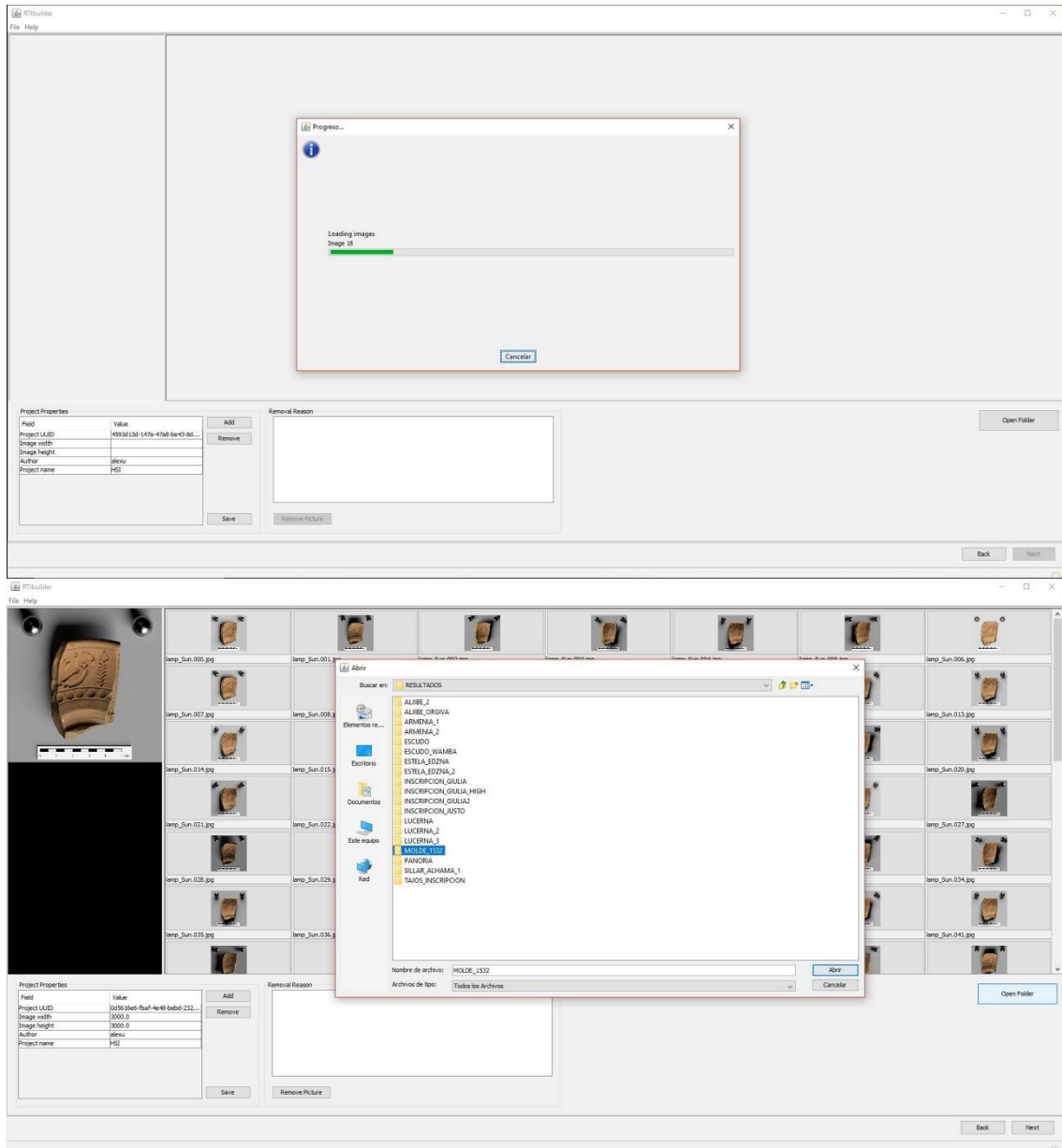


Figura 3.57. Ejemplo de cómo cargar un grupo de fotos en RTBuilder para generar un modelo de *Reflectance Transformation Imaging*.

El siguiente paso es cargar los ficheros de imagen en el nuevo proyecto que iniciemos en RTBuilder (fig. 3.57). Cuando las imágenes estén cargadas, es imprescindible identificar y acotar las esferas metálicas que se incorporaron durante el proceso de captura de imágenes (fig. 3.58). Si se realiza correctamente su demarcación el *software* nos permitirá identificar de forma automática el ángulo y la posición de la fuente de luz

en cada una de las fotografías que compongan nuestro modelo (fig. 3.59). Al finalizar el proceso de reconocimiento, solo se ha de ejecutar la aplicación “PTMfitter” anteriormente mencionada y esperar que el programa genere el modelo (fig. 3.60).

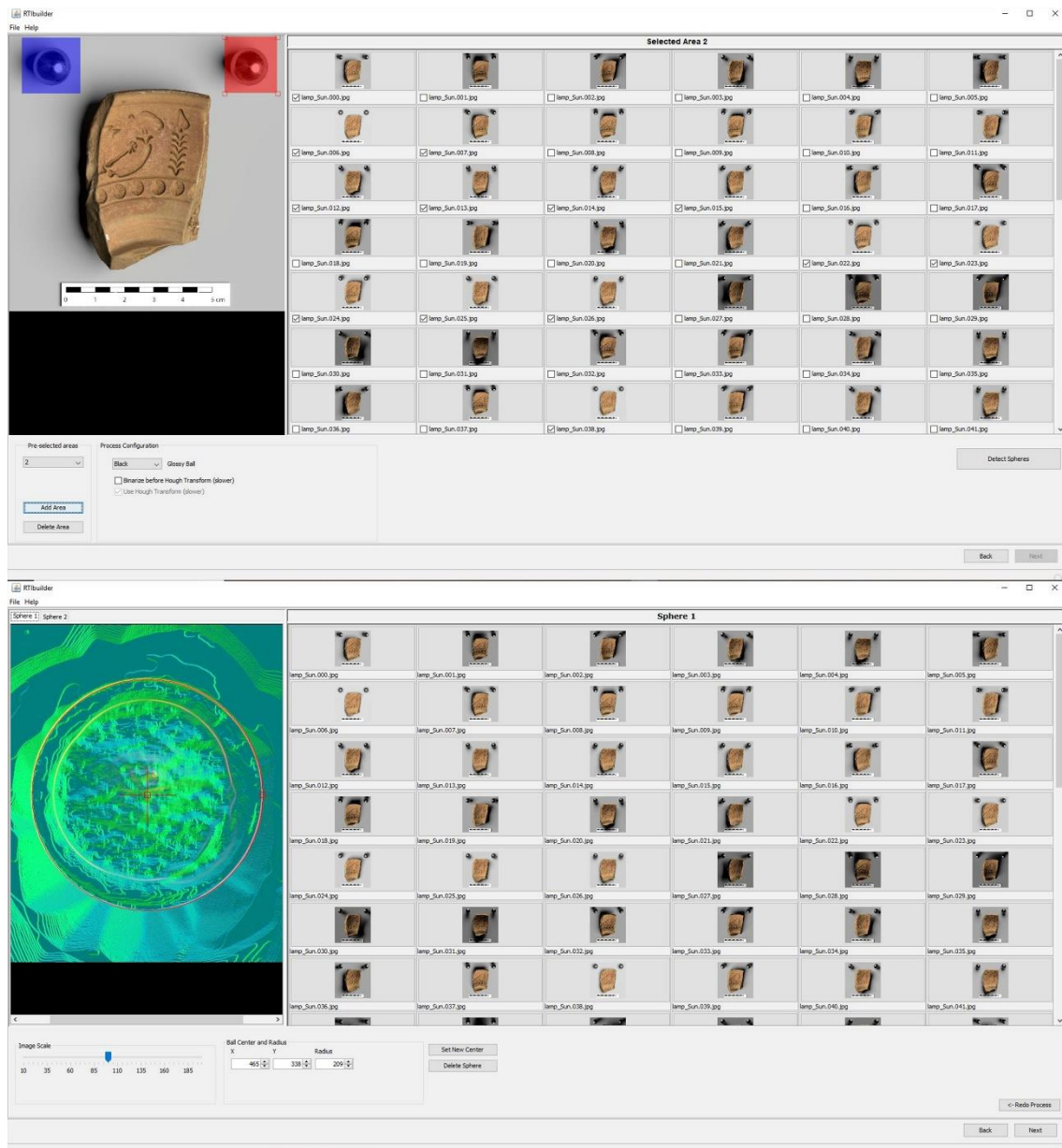


Figura 3.58. Delimitación del área de las esferas en RTBuilder. En primer lugar, se esboza la zona de cada esfera mediante dos recuadros (superior) y por último se afina el área circular (inferior). Gracias a esto el programa puede detectar la procedencia de la fuente de luz en cada una de las imágenes cargadas.

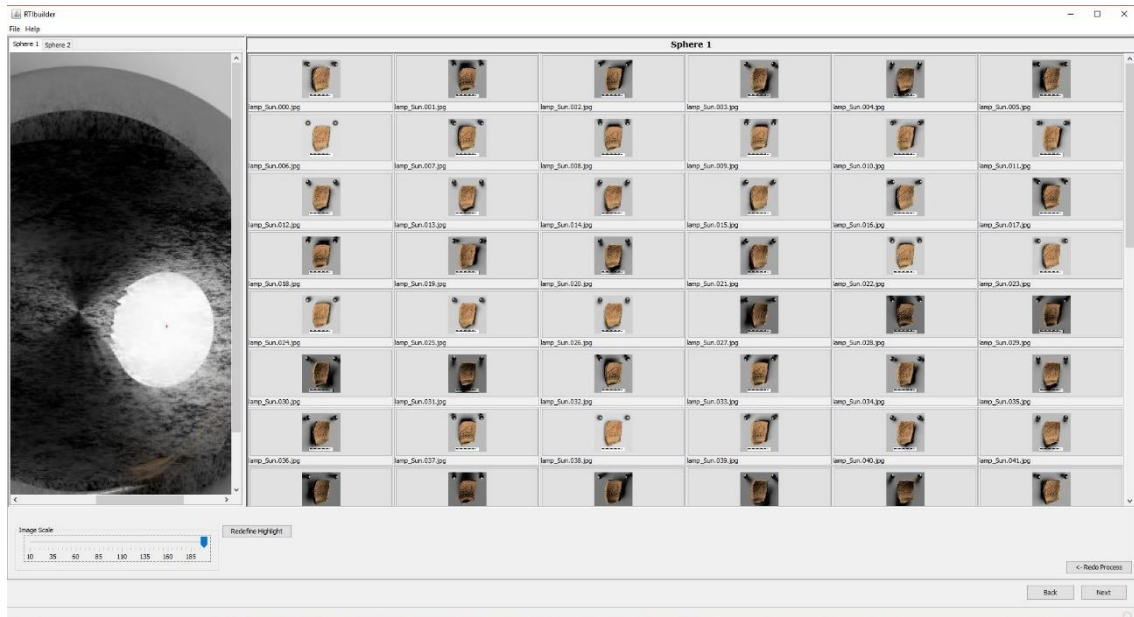


Figura 3.59. Detección automática del origen de los puntos de luz de cada imagen. En esta figura se puede observar también como el sistema de nodos de Blender funciona a la perfección, ya que el *software* detecta sin problema el ángulo y la dirección de la luz en las esferas metálicas.

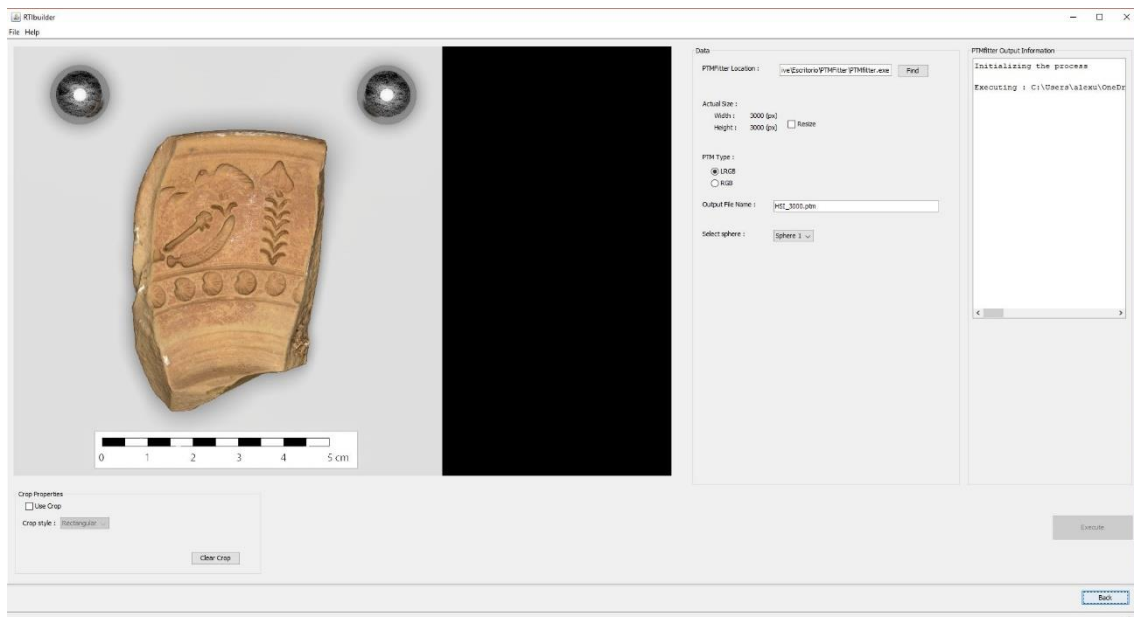


Figura 3.60. Parte final del proceso de creación de un modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) a partir de RTIBuilder. Aquí se puede delimitar el área de visualizado del modelo.

Si bien es cierto que el flujo de trabajo en RTIBuilder es prácticamente idéntico al que se realiza en la metodología de *Reflectance Transformation Imaging* tradicional, una ventaja del RTI Virtual es que el margen de error durante la captura de datos es considerablemente menor. Esto repercute en que la secuenciación de pasos sobre

imágenes renderizadas en Blender, sea mucho más sencilla y efectiva que sobre fotografías obtenidas mediante una cámara *DSLR*. Crear un modelo de RTI virtual presupone un proceso de trabajo continuo que se verá influido tanto por el rigor y precisión con la que realicemos todo el proceso fotogramétrico, la calidad de los renderizados que obtengamos mediante Blender, así como por propios ajustes que se hagan en RTIBuilder.

Hecha esta salvedad, es preciso indicar que RTIBuilder es simplemente una plataforma de creación. La visualización interactiva de un modelo de *Reflectance Transformation Imaging* se hace a través de otro *software* distinto, RTIViewer®. Producido también por *Cultural Heritage Imaging*, RTIViewer (CHI, 2013: 2-26; RTIviewer, 2013: en línea) viene a complementar las funciones de RTIBuilder. En este caso permitiendo interactuar con los modelos digitales *Polynomial Texture Mapping* (.ptm). Este programa integra un completo sistema de modos de visualización que permite obtener capturas estáticas de gran calidad. Mientras que RTIBuilder produce los datos necesarios, RTIViewer permite analizarlos de forma precisa y minuciosa (fig. 3.61)



Figura 3.61. TIVIEWER, es el *software* que nos permite visualizar el modelo de *Polynomial Texture Mapping* creado en RTIBuilder.

3.4.4.5 *Estrategias de retopología, regularización geométrica y bakeado aplicadas a la optimización del RTI Virtual*

Uno de los principales problemas derivados de la manipulación de objetos tridimensionales de gran calidad es el enorme peso de estos archivos. Este es un hecho innegable al que debe enfrentarse cualquier arqueólogo virtual. Si bien es cierto que una resolución geométrica superior implica un mayor realismo, esto suele traducirse en un material digital poco manejable y con tiempos de procesado muy prolongados.

En un proceso tan exigente como el RTI virtual, esta es una realidad evidente y contradictoria. Por un lado, es necesario trabajar con modelos de alta resolución geométrica, pero ello supone una importante carga a nivel de *hardware* y eleva considerablemente la inversión de tiempo. Si, por el contrario, se decide trabajar con una malla tridimensional simplificada, la pérdida de detalle y, por consiguiente, de información es inevitable. En efecto, la retopología es un proceso tedioso y costoso, pero que permite mitigar hasta cierto punto este tipo de problemáticas.

Las estrategias de retopología surgen estrechamente ligadas al mundo del videojuego. Esta industria, donde se busca un realismo cada vez mayor, apuesta igualmente por entornos de juego estables y fluidos que puedan ser ejecutados en equipos informáticos económicamente accesibles. En este sentido, implementar dinámicas de optimización permite reducir la carga poligonal de los modelos tridimensionales, reduciendo el peso de las geometrías de alta densidad, pero manteniendo lo máximo posible sus detalles originales (Dey, 2018: 10-12).

La optimización de un modelo tridimensional se divide en dos partes bien diferenciadas. La primera es la reorganización de la malla geométrica haciéndola mucho más ligera y coherente. De esta forma, la distribución en base a formas triangulares o *tris* que producen los *softwares* fotogramétricos (Bhargava *et al.*, 2013: 172-176; Floriani y Magillo, 2009: 3178-3179) es sustituida por otra basada en polígonos de cuatro lados o *quads*. Sin embargo, la nueva malla digital simplificada carece de cualquier tipo de textura, y tampoco es posible aplicar la textura proporcionada por el programa de fotogrametría (fig. 3.62). En efecto, una nueva malla implica una nueva distribución de

sus coordenadas U, V, W. Estas coordenadas son las que permiten que un archivo bidimensional como es un mapa de texturas, pueda aplicarse de forma correcta sobre un objeto tridimensional. Obviamente, esto se debe a que este tratamiento de reordenación cambia, de forma radical, la disposición de estas coordenadas por lo que resulta esencial readaptar también las texturas a esta nueva distribución geométrica.

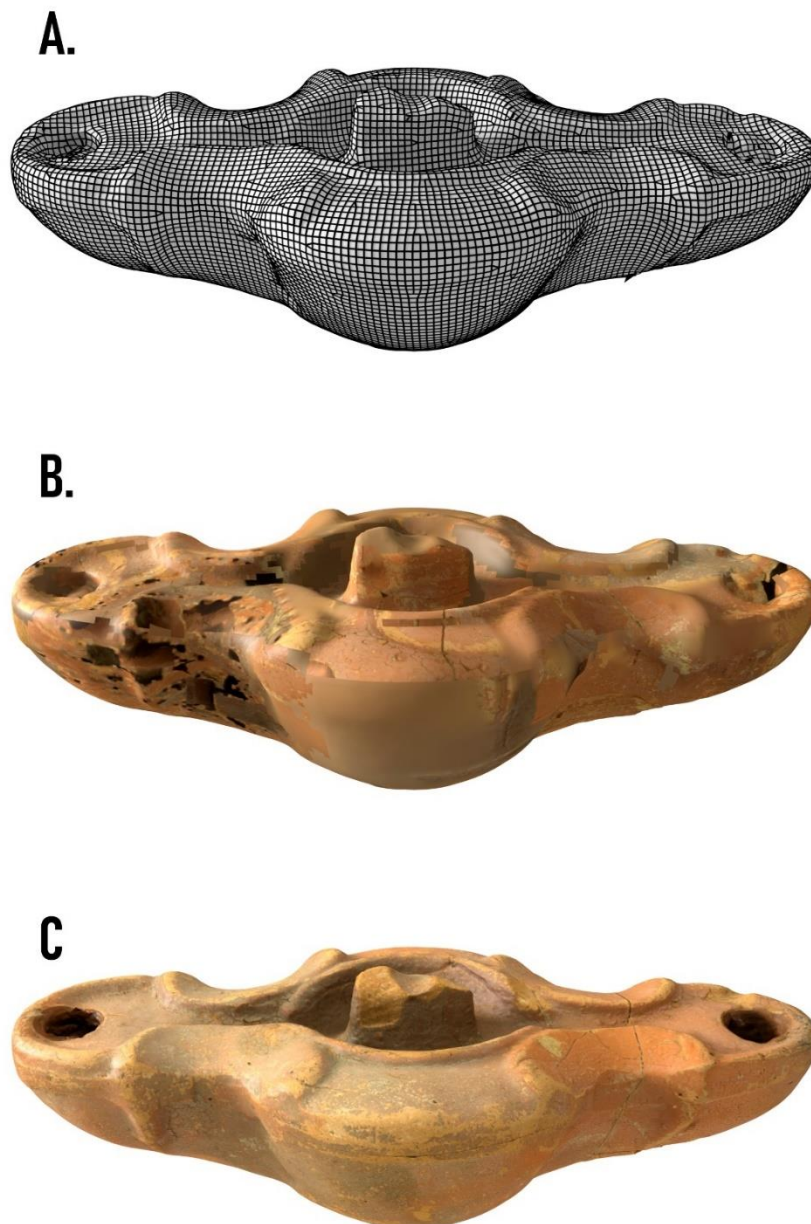


Figura 3.62. Distribución UV (A.) del modelo con retopología de la lucerna de doble pico procedente del Cerro de la Mora, Moraleda de Zafayona (Granada). Error al aplicar la textura del modelo original sobre

el modelo con retopología donde la disposición de esta no concuerda con el cuerpo tridimensional (B.). Modelo correcto donde se ha llevado a cabo el remapeado de las texturas (C.).

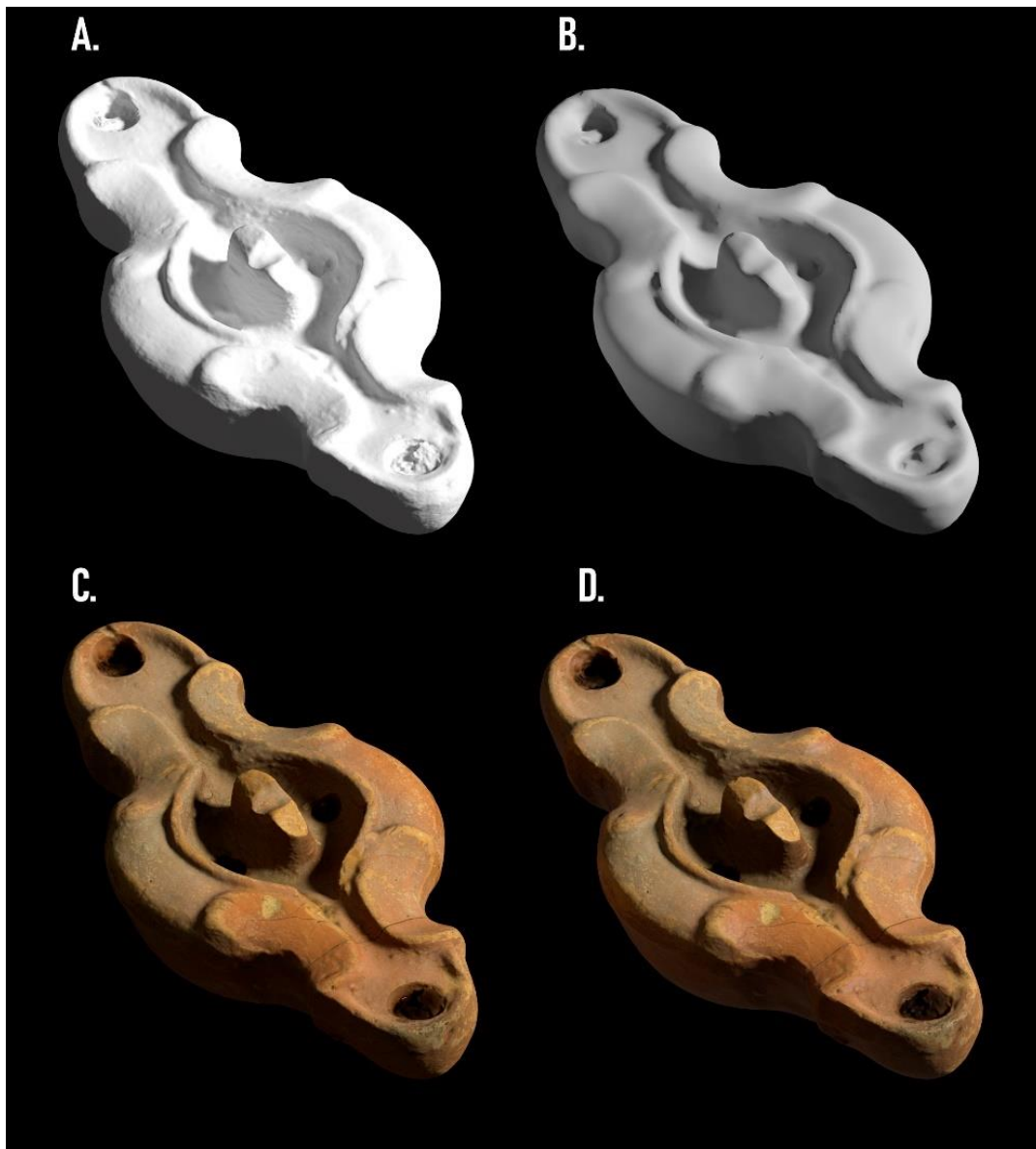


Figura 3.63. Comparativa entre la disposición de la textura y el mapa UV original de un modelo fotogramétrico (A. y B.) y los obtenida mediante retopología (C. y D.). Como puede apreciarse, a nivel visual las diferencias en los modelos finales son prácticamente imperceptibles.

La segunda parte de la retopología engloba todos aquellos procesos conducentes a la creación o readaptación de las texturas del objeto original sobre aquel otro simplificado. En cierto modo, esto se debe a que habitualmente se emplean *softwares* diferentes para llevar a cabo cada parte del proceso retopológico. Por ejemplo, mediante programas comerciales como Pixologic Zbrush (Pixologic, 1999) o gratuitos como Instant Meshes® (Jakob *et al.*, 2015: 2-13; Meshes, 2015) se reordenan las mallas digitales en base a

quads, lo que las hace mucho más simples y ligeras. Sin embargo, estas plataformas no adaptan las texturas originales obtenidas mediante el escaneo fotogramétrico al nuevo cuerpo digital. El “bakeado”, en este caso, debe llevarse a cabo en un *software* aparte como puede ser Blender donde, generando una distribución UV manual, se elige como se desplegarán los nuevos mapas de texturas. Ahora sí, mediante este procedimiento, la textura del objeto tridimensional original queda perfectamente fijada al modelo simplificado y su disposición resulta ahora mucho más comprensible (fig. 3.63).

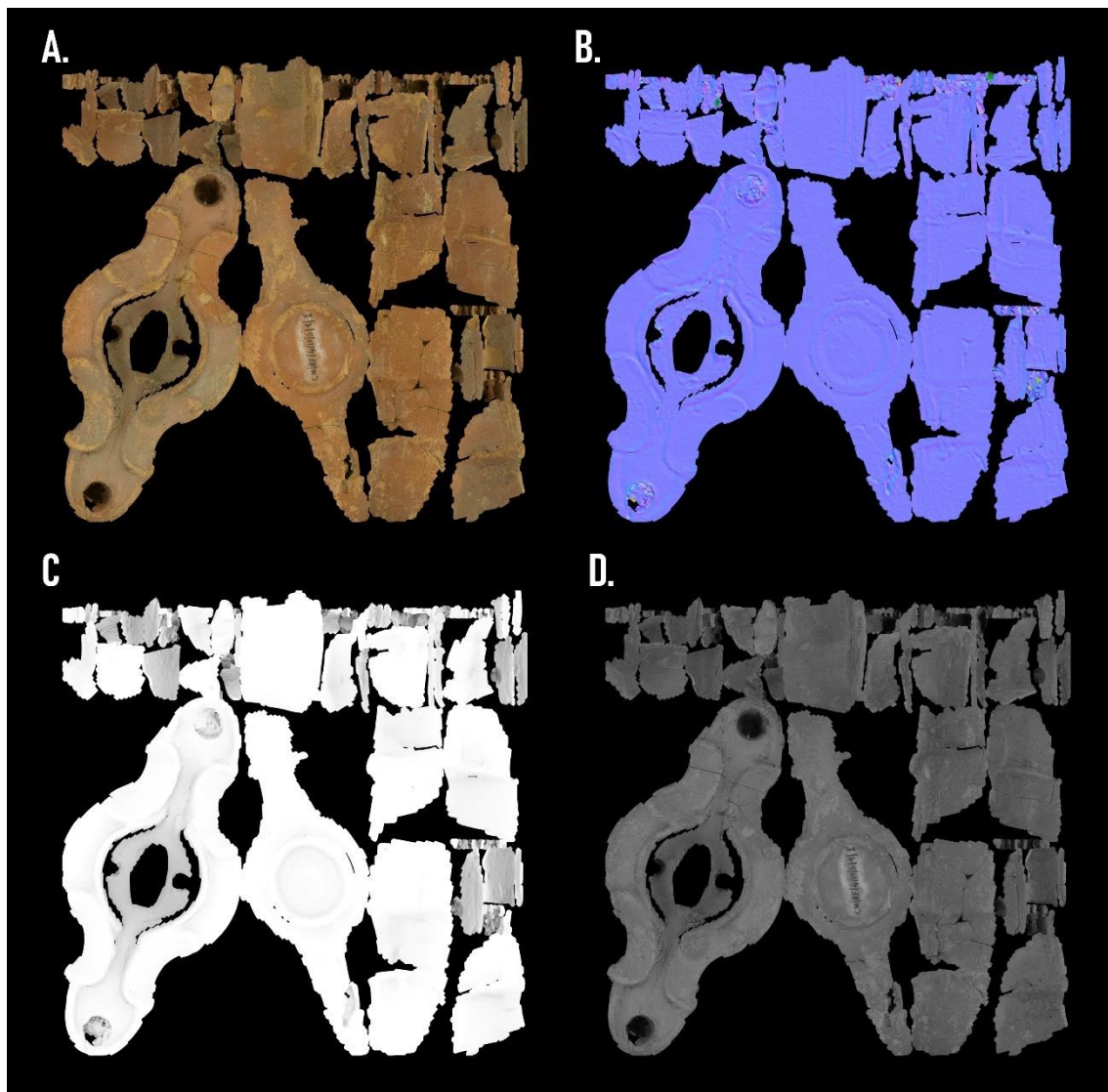


Figura 3.64. Algunos de los diferentes mapas de texturas que existen. Mapa de albedo o color (A.), mapa de normales (B.), mapa de oclusión ambiental (C.) y mapa de aspereza o brillo (D.).

Este método de “bakeado” o mapeado de texturas permite, además de adaptar la textura original al simplificado, rescatar detalles como la geometría o las propiedades de reflexión del modelo *highpoly* y aplicarlas sobre el modelo optimizado *lowpoly*. Para ello es necesario distribuir, de forma automática o manual, las coordenadas UVW del modelo optimizado. Sobre ellas es posible “calcar” tanto el color, como los detalles geométricos o las propiedades de reflexión de la pieza original. El resultado final es la creación de toda una serie de mapas de texturas (mapa de normales, mapa de oclusión ambiental, mapa de aspereza, etc.) ajustados perfectamente a las coordenadas UVW del modelo de baja densidad poligonal o *lowpoly* (fig. 3.64).

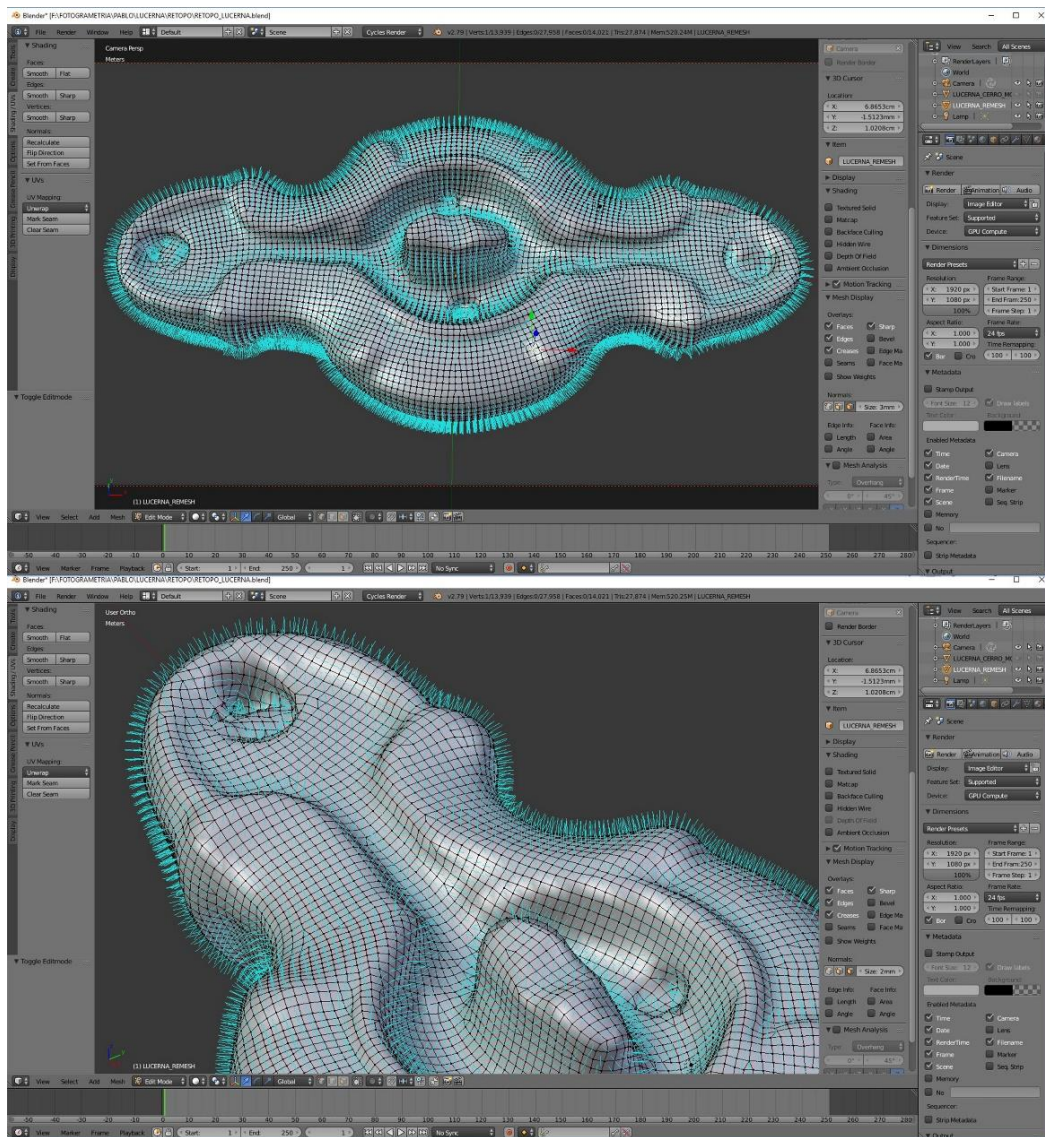


Figura 3.65. Dirección de las normales de la Lucerna. Ver también figura 3.45.

En las Humanidades Digitales y, en concreto, en la Arqueología virtual el uso de la retopología se ha centrado principalmente en el ámbito de la difusión. En efecto, trabajar con materiales optimizados permite dar una mayor visibilidad al patrimonio, lo que amplía considerablemente el público objetivo. En líneas generales, reducir la geometría de los modelos digitales facilita su almacenaje y permite generar réplicas virtuales mucho más manejables (Dey, 2018: 11). No obstante, su aplicación puede ir más allá de la mera divulgación. Obviamente, este procedimiento no resulta adecuado si lo que se busca es realizar estudios morfométricos o volumétricos como los propuestos anteriormente. A fin de cuentas, la retopología solo imita la apariencia de una geometría de alta resolución a través de archivos de imagen.

Sin embargo, esta puede resultar muy útil si lo que se quiere es potenciar determinados rasgos de las réplicas fotogramétricas. Esto supone una interesante ventaja en técnicas donde no se realizan cálculos directamente sobre la malla digital. Y este es, precisamente, el caso de la técnica del RTI virtual.

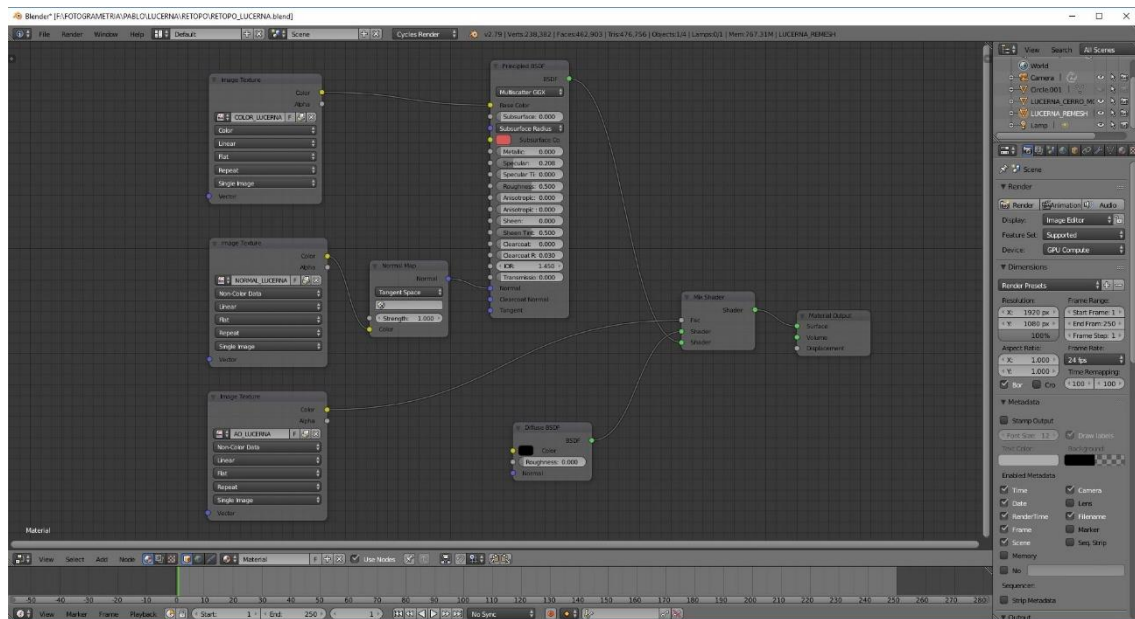


Figura 3.66. Sistema nodos empleado para llevar a cabo el bakeado de los mapas de texturas de un modelo fotogramétrico cara a su optimización, y como parte del proceso de retopología.

La creación de texturas de normales (*normal map*), oclusión ambiental (*ambient clusion map*), aspereza (*roughness map*) o altura (*height map*), proporciona la posibilidad de

“distorsionar” el aspecto original de una réplica digital con el objetivo de potenciar aquellas partes o trazos más deteriorados (fig. 3.64). El sentido original de la técnica de la *Reflectance Transformation Imaging* atiende, precisamente, a la necesidad de mejorar la visualización de determinados aspectos de un elemento patrimonial. Ahora, con la integración de los modelos fotogramétricos en consonancia con procedimientos de retopología es posible potenciar aún más los resultados de este tipo de herramientas.

En plataformas de modelado 3D como Blender, esto se consigue de forma relativamente sencilla. A partir de la edición de los nodos de composición (fig. 3.66) es posible ajustar la intensidad de las texturas de los elementos digitales. Así, ajustando al alza el grado de fuerza de, por ejemplo, el mapa de normales potenciamos la manera en que las caras poligonales de la malla digital actúan cuando sobre ellas incide una fuente de luz externa (figs. 3.45 y 3.65). En otras palabras, se logra enfatizar de forma artificial el relieve de un objeto determinado (fig. 3.67). Algo similar ocurre con el resto de texturas, cada una de la cual potencia algún aspecto distinto de la superficie del objeto.

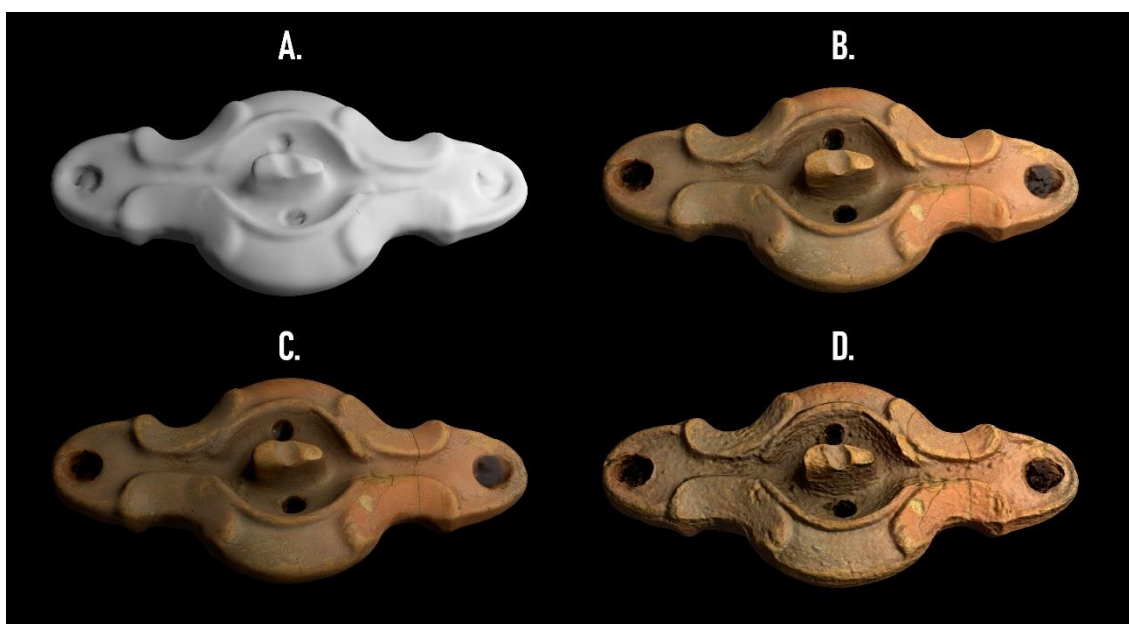


Figura 3.67. Modelo sin texturizar de la lucerna del Cerro de la Mora (A.), modelo lowpoly sin retopología (C.), con retopología (B.) y con los mapas de texturas exagerados para resaltar los detalles de su superficie (D.).

3.4.4.6 Drones, RTI o cómo afrontar la inaccesibilidad del patrimonio arqueológico

En arqueología no siempre se dan las condiciones idóneas para trabajar sobre un contexto patrimonial que, a veces, se convierte en una realidad realmente inaccesible. La *Reflectance Transformation Imaging* no es una excepción. La forma tradicional de esta metodología resulta adecuada cuando se cuenta con el material, el personal y los conocimientos suficientes. No obstante, a ello hay que sumar una variable adicional, contar con un acceso relativamente fácil al objeto sobre el que se quiere trabajar. La captura de datos manual, correctamente realizada, aporta un nivel de detalle asombroso para un análisis de imagen. El problema surge cuando alguna de estas premisas falla y la aplicación de esta técnica se vuelve una tarea irrealizable. De manera habitual, llevar a cabo este método de digitalización requiere de un material que no siempre es posible transportar y ubicar en el lugar seleccionado. En estos casos, aplicar este mismo procedimiento, pero en un entorno digital puede convertirse en una opción mucho más interesante. Una alternativa incluyente y no excluyente, que amplía el campo de actuación sobre el patrimonio cultural.

Una de las ventajas de trabajar con fotogrametría es que, a diferencia de la *Reflectance Transformation Imaging*, producir réplicas digitales resulta mucho más sencillo. La fotogrametría *SfM*, es una técnica mucho más flexible en este aspecto y, del mismo modo, el instrumental con el que se obtiene es tan diverso que es posible llevar a cabo modelos digitales de prácticamente cualquier cosa. Desde objeto microscópicos a grandes extensiones de terreno, siendo incluso posible, con el equipo informático adecuado, llevar a cabo la fotogrametría de elementos tan inmensos como puede ser un planeta. En definitiva, todo se reduce a una simple cuestión de distancia focal, ya que en fotogrametría *SfM* resulta prácticamente indiferente la ubicación del dispositivo con el que se toman las imágenes (Olson *et al.*, 2013: 249). Siempre y cuando los ajustes de este sean los correctos, es posible generar un modelo digital a partir de imágenes tomadas mediante una cámara DSLR, un smartphone, un microscopio electrónico de barridos, una cámara térmica o a través de un satélite orbital.

A este respecto, el empleo de los UAV o VAT (Vehículos Aéreos no Tripulados), más comúnmente conocidos como drones supone un auténtico punto de inflexión a la hora de digitalizar elementos patrimoniales de difícil acceso. Aunque existe herramientas de teledetección como el LIDAR (*Light Detection and Ranging*), capaz de generar modelos tridimensionales de alta resolución de grandes superficies de terreno a partir de escaneos llevados a cabo mediante láser montados en aeronaves o satélites orbitales situados a gran altura, su uso se muestra insuficiente a la hora de documentar partes muy concretas de determinadas estructuras.

En los últimos años, en Arqueología el uso de los drones ha experimentado un fuerte crecimiento. Esto es gracias principalmente a la aparición de modelos de dron cada vez más económicos y, al mismo tiempo, con unas considerables prestaciones técnicas (Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso, 2016: 509). Este tipo de dispositivos montan cámaras fotográficas de gran resolución, sistemas de estabilización de vuelo increíblemente precisos y su tamaño, a diferencia de lo que ocurre con el LIDAR, les aporta una conveniente maniobrabilidad. Todo ello, hace del dron una herramienta de gran versatilidad a la hora de documentar el patrimonio arqueológico (Campana, 2017: 276-294; Fernández-Lozano *et al.*, 2018: 519-538; Hill, 2019: 81-89; Remondino *et al.*, 2011: 14-16; Rouco *et al.*, 2018: 2-29; Benavides *et al.*, en prensa). Un elemento este, que no siempre es completamente accesible, dado que el terreno se convierte en determinadas ocasiones en una frontera insalvable. De modo que, solo la simple inspección de una pieza o estructura arqueológica de difícil acceso, supone ya una ardua tarea. Cuanto más aplicar técnicas que, como la *Reflectance Transformation Imaging*, requieren de un equipo y unas condiciones muy específicas.

Es en este contexto donde se enmarca el uso del dron para la creación de *Polynomial Texture Mapping* (Malzbender *et al.*, 2001) y más específicamente de modelos interactivos de reiluminación obtenidos mediante la técnica del RTI Virtual.



Figura 3.68. Recreación del Aljibe exterior del Castillo de Órgiva (Granada, España) a partir del modelo tridimensional obtenido mediante un dron.

Póngase por caso, la documentación de una cenefa decorativa algo deteriorada localizada en los restos de un aljibe enclavado en un abrupto promontorio al sudoeste de la Alpujarra granadina (Maldonado y Rouco en prensa) (fig. 3.68). La subida con el equipo necesario para realizar el procedimiento de captura de la *Reflectance Transformation Imaging*, se convertía en un cometido agotador. A ello se ha de sumar el hecho de que la ubicación concreta de la estructura prácticamente hace inviable instalar el trípode, colocar las esferas metálicas y maniobrar con la fuente de luz de luz para adquirir las fotografías necesarias. Entra aquí en juego el dron que, con el apoyo de un GPS diferencial, es capaz de realizar un levantamiento fotogramétrico perfectamente georreferenciado de la estructura y el entorno colindante. Mediante la combinación de un vuelo programado y un vuelo manual en unos 20-30 minutos puede extraerse un modelo fotogramétrico con suficiente detalle. Posteriormente, mediante edición en Blender, la decoración del aljibe es aislada y procesada (fig. 3.69). De esta forma, de todo el conjunto documentado tridimensionalmente, focalizamos la aplicación del RTI en una

pequeña fracción de la estructura, obteniendo así el modelo interactivo de iluminación solo de aquella parte que realmente interesa.

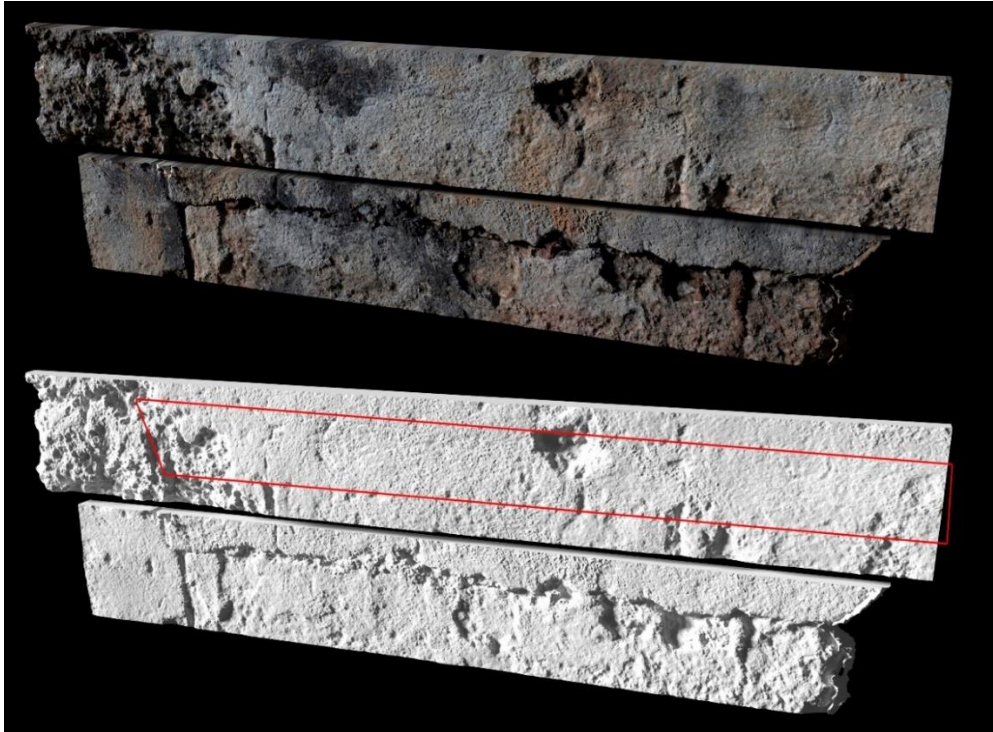


Figura 3.69. Piezas obtenidas del aljibe, cortadas y procesadas en Blender para la posterior aplicación del RTI virtual (inferior).

Si, por otro lado, el acceso a esta estructura no fuese el verdadero impedimento, desgajar la parte concreta que se quiere analizar supone igualmente un importante ahorro de tiempo a la hora de realizar la *Reflectance Transformación Imaging*. Esto es algo que se puede realizar fácilmente con réplicas fotogramétricas y en entornos virtuales, pero resulta impensable en el patrimonio real ya que implicaría la destrucción de este.

En efecto, el flujo metodológico que deriva del empleo de un UAV no supone ninguna variación en el procesado o la calidad final de un modelo de RTI Virtual, pero amplía, eso sí, su campo de aplicación.

3.4.4.7 Usos y posibilidades del RTI Virtual

Tras haber llevado a cabo modelos basados en RTI Virtual sobre elementos patrimoniales tan diversos, es posible afirmar que el uso combinado de fotogrametría *SfM* y *Reflectance Transformation Imaging* es un flujo de trabajo eficaz. Una metodología perfectamente aplicable a cualquier tipo de cultura material con indiferencia de su procedencia, naturaleza, cronología o escala.

Es cierto que para generar este tipo de productos a partir de modelos tridimensionales requiere de un equipo de gran potencia. De hecho, tanto a las características de nuestro *hardware* como a la calidad de salida que queremos dar a nuestros renderizados influirán notablemente en el tiempo y la calidad final de nuestros modelos. A este respecto, el tiempo real de trabajo que necesita Blender para producir las imágenes necesarias puede llegar a consumir varias horas. El material trabajado durante la presente tesis doctoral, implica una media de unas 106 imágenes de calidad media-baja por pieza. Además, los renderizados obtenidos a partir de modelos 3D (.obj) no solían superar los 100 mb de peso, por lo que sus mallas geométricas no eran excesivamente complejas. Con todo ello, el tiempo aproximado de procesado no solía bajar de las 8 horas por modelo.

En la mayoría de los casos, trabajar con modelos digitales de esta resolución implica, en comparación con la técnica tradicional de *Reflectance Transformation Imaging*, tener que sacrificar un poco la calidad del modelo interactivo de re-iluminación. Sin embargo, la accesibilidad y la movilidad que nos aporta el RTI virtual compensa estas posibles carencias. Compaginarlo con la fotogrametría *SfM* y, más específicamente, con los Vehículos Aéreos No Tripulados, permite acceder a elementos patrimoniales cuya situación haría inviable la aplicación de la técnica original, más precisa en la mayoría de los casos, pero compleja de ejecutar.

Es cierto que la calidad se convierte en una de las variables más importantes dentro de este tipo de productos digitales. Por ello, conviene subrayar que la pérdida de resolución de los modelos obtenidos mediante RTI Virtual puede ser, en la mayoría de los casos,

mitigada. En efecto, las estrategias vinculadas a la retopología permiten potenciar determinados rasgos de nuestras réplicas fotogramétricas (fig. 3.67). Resaltando valores como las normales o la oclusión ambiental a través de mapas de texturas específicos, se mejoran considerablemente el detalle proporcionado por el RTI Virtual sin incrementar por ello el tiempo de procesamiento. Por otro lado, si lo que buscamos es trabajar con los modelos fotogramétricos originales sin que ello suponga un tiempo de procesado excesivo, existe otra interesante alternativa, el uso de granjas de renderizado o *render farms*. Este servicio de pago está basado en el trabajo cooperativo de varias computadoras conectadas en línea, un conjunto de CPUs que trabajan al unísono para renderizar imágenes que, de otra forma, podrían tardar días o incluso semanas en producirse. En internet existen ya varias empresas dedicadas a proporcionar este tipo de servicios con la comodidad que implica trabajar en un marco completamente online. Así, en un proyecto a gran escala donde se necesite trabajar con un gran volumen de piezas y con una calidad alta, el uso de este tipo de servicios resultaría interesante en aras de reducir los tiempos de espera.

En este mismo sentido, llevar a cabo un modelo de *Reflectance Transformation Imaging* a través de una réplica fotogramétrica se convierte en una forma clara de reutilización y de economía del esfuerzo. Gracias a un proceso semiautomatizado como este es posible obtener dos tipos de tratamiento digital sin apenas esfuerzo extra. Las réplicas fotogramétricas se convierten en una materia prima *per se*, a través de la cual es posible generar varios procesos de análisis y recursos adicionales. Es precisamente la generalización en el uso de esta la que hace tan interesante una técnica como el RTI Virtual. Ahora es posible llevar a cabo procedimientos de análisis de imagen, de forma posterior, sobre réplicas digitales cuyos originales ya no son accesibles por diversos motivos: han sido destruidos, han desaparecido, están en manos privadas o, simplemente, se encuentran demasiado lejos de nosotros (fig. 3.70).

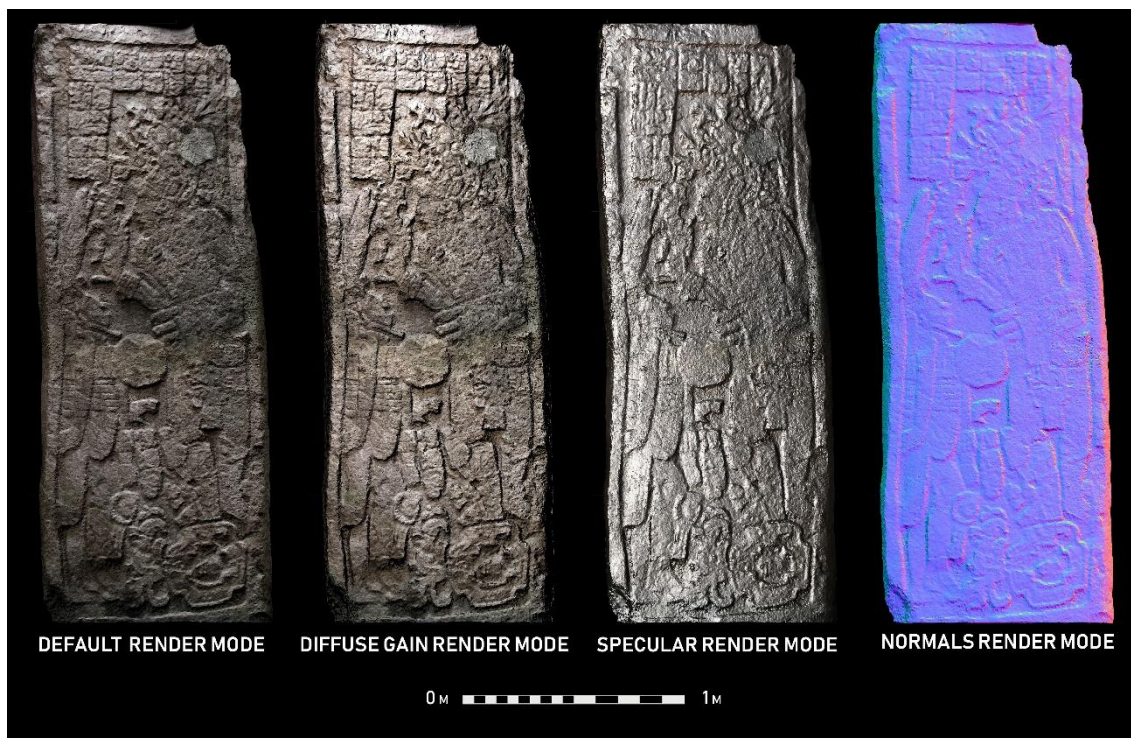


Figura 3.70. RTI Virtual llevado a cabo dos años después de la realización del modelo fotogramétrico de la estela N°2 del yacimiento maya de Edzná (Campeche, México). En la imagen se pueden apreciar capturas de algunos de los principales modos de visualización de RTIViewer.

La expansión de los *softwares* fotogramétricos y de móviles con cámaras casi profesionales ha favorecido la proliferación de los denominados como “souvenirs fotogramétricos” (Aparicio, 2019: en línea), modelos 3D realizados de forma rápida, pero con muy buena calidad en algunos casos. Este tipo de material digital que está sustituyendo a las fotografías tradicionales como recuerdos, es cada vez más habitual y accesible en plataformas online como Skechtfab®. Este tipo de modelos tridimensionales, realizados sin ninguna pretensión en especial, pueden convertirse en potenciales casos de estudio y análisis en un ámbito más académico. De esta forma, no solo se amplían considerablemente las posibilidades de uso de estas reproducciones digitales, que ahora pueden ser sometidas a procedimientos de análisis posteriores, sino que es posible evitar también un desplazamiento excesivamente caro por parte del investigador. Más allá de ello, en el caso de no existir un modelo fotogramétrico en sí mismo estos pueden realizarse a partir de un número suficiente de fotografías que, no necesariamente, proceden de la misma persona. De esta forma, empleando imágenes con un mínimo grado de solape entre ellas es posible generar modelos fotogramétricos

de, prácticamente, cualquier parte del mundo. Esto es algo muy útil en zonas de conflicto o desastres naturales, donde existe cierto riesgo tanto para el patrimonio como para el propio investigador. Esta dinámica de *crowdsourcing* fotogramétrico, comenzó a desarrollarse a raíz de la fundación por parte de Matthew Vincent y Chance Coughenour del Proyecto Mosul (Bott *et al.* 2015: 10-11; Chalikias *et al.*, 2015: 1-89; Matthew *et al.*, 2015: 171-172; Inzerillo y Santagati, 2016: 870). La iniciativa surge como respuesta a la destrucción patrimonial total o parcial provocada en el Norte de Iraq. El proyecto Mosul trata de recuperar así el patrimonio cultural destruido a través de las fotografías cedidas por miles de turistas. Poco después de su lanzamiento, el Proyecto Mosul pasó a denominarse como Rekrei (Matthew y Coughenour, 2015: en línea) ampliando su labor a muchos más ámbitos geográficos como Nepal o Siria.

De esta forma, a través del RTI Virtual y en consonancia con iniciativas como Rekrei, sería factible llevar a cabo modelos de *Polynomial Texture Mapping* sobre piezas que, como la estela Asiria del Palacio de Nimrud (fig. 3.71), ya no existen en el medio tangible.

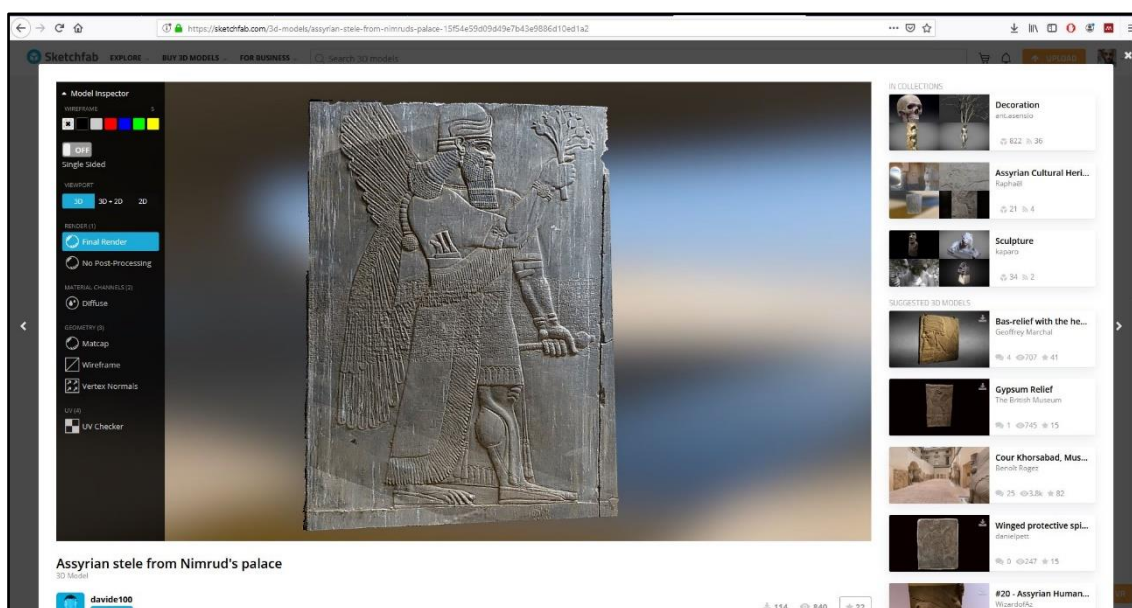


Figura 3.71. Modelo fotogramétrico de la estela Asiria del Palacio de Nimrud (Iraq), destruida en 2015 por la organización terrorista ISIS. Captura realizada en la página de visualización online Sketchfab (disponible en: <https://sketchfab.com/3d-models/assyrian-stele-from-nimruds-palace-15f54e59d09d49e7b43e9886d10ed1a2> [última visita:06/08/19]).

En suma, las dificultades que supone enfrentarse a patrimonio arqueológico de formas y materiales tan diversos son escollos fácilmente salvables en un entorno digital donde

se controlan, prácticamente, todos los aspectos y variables. La efectividad que aporta el RTI virtual se convierte, sin duda alguna, en uno de sus más valiosos beneficios. Al ser un proceso enteramente informático se reduce al mínimo el factor humano y ambiental. Esto se traduce en margen de error mucho más reducido que en la aplicación tradicional donde la más leve variación de la posición de la pieza o la cámara durante la adquisición de las imágenes, puede dar al traste con todo el procedimiento ulterior.

3.4.5 La aplicación de Mapas Digitales de Elevaciones (DEM) en el patrimonio de pequeño y mediano tamaño

Casi al inicio de este segundo capítulo, se ha podido comprobar como las posibilidades de la fotogrametría no se limitan a la mera réplica tridimensional. Los *softwares* como Agisoft Metashape o Reality Capture llevan incorporadas algunas opciones internas que permiten generar, entre otras cosas, los denominados como Modelos Digitales de Elevaciones o DEM (figs. 3.72, 3.73 y 3.74), también conocidos como Modelos Digitales del Terreno o MDT (Howland *et al.*, 2014: 104). En Arqueología, este tipo de representaciones espaciales son una realidad habitual a la hora de trabajar con modelos tridimensionales de grandes extensiones de superficie, ya que permite comprender con mucha mayor precisión la microtopografía de un terreno determinado (Benavides, 2017: 131; Benavides *et al.*, 2016: 499; Mozas-Calvache *et al.*, 2012: 527). Este archivo almacena además información sobre altitud, orientación e inclinación y los relaciona con cada uno de los píxeles que componen la imagen digital. De esta forma, y a partir de modelos fotogramétricos correctamente georreferenciados, se puede obtener de forma rápida un DEM de gran precisión que servirán de base a una gran cantidad de análisis espaciales y morfológicos.

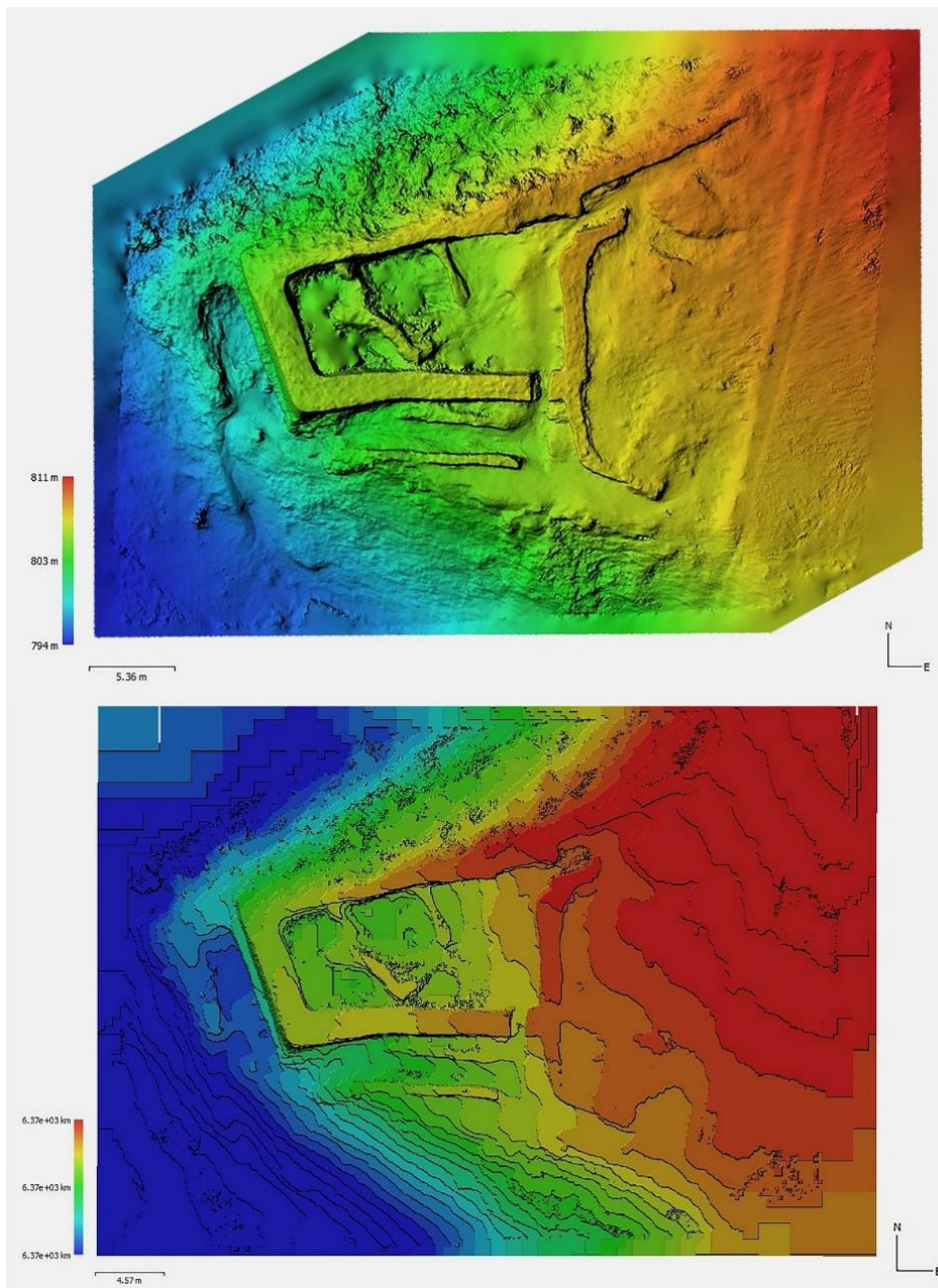


Figura 3.72. En la imagen dos variantes de Modelo Digital de Elevaciones obtenidas en el *software* fotogramétrico Agisoft Metashape a partir de un modelo fotogramétrico realizado con dron sobre la estructura del “Bastión” del yacimiento de Cerro de la Encina (Monachil, Granada). En este caso el modelo se encuentra perfectamente georreferenciado y, por tanto, las medidas referentes a la cota de altura y la ubicación son exactas. El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6JvUu> [última visita: 26/10/19].

Sin embargo, en Arqueología su uso no se limita únicamente a modelos 3D de gran extensión o a estructuras de mediano y gran tamaño (Benavides et al. 2016: 499 y figs. 3.72 y 3.73). Más allá de ello, generar este tipo de representación se convierte en una herramienta de gran efectividad a la hora de documentar y analizar modelos

fotogramétricos de dimensiones más reducidas. A pesar de que este tipo de réplicas digitales no suelen poseer coordenadas absolutas, y por tanto no están georreferenciadas, es posible generar Modelos Digitales de Elevaciones ajustando la escala y orientación de forma manual. Un mero trámite metodológico que permite desbloquear esta función en algunos *softwares* fotogramétricos como Agisoft Phostoscan. En el caso de Reality Capture, este paso puede obviarse, ya que se pueden producir DEMs a partir de material tridimensional sin la necesidad de coordinarlo, escalarlo u orientarlo previamente.

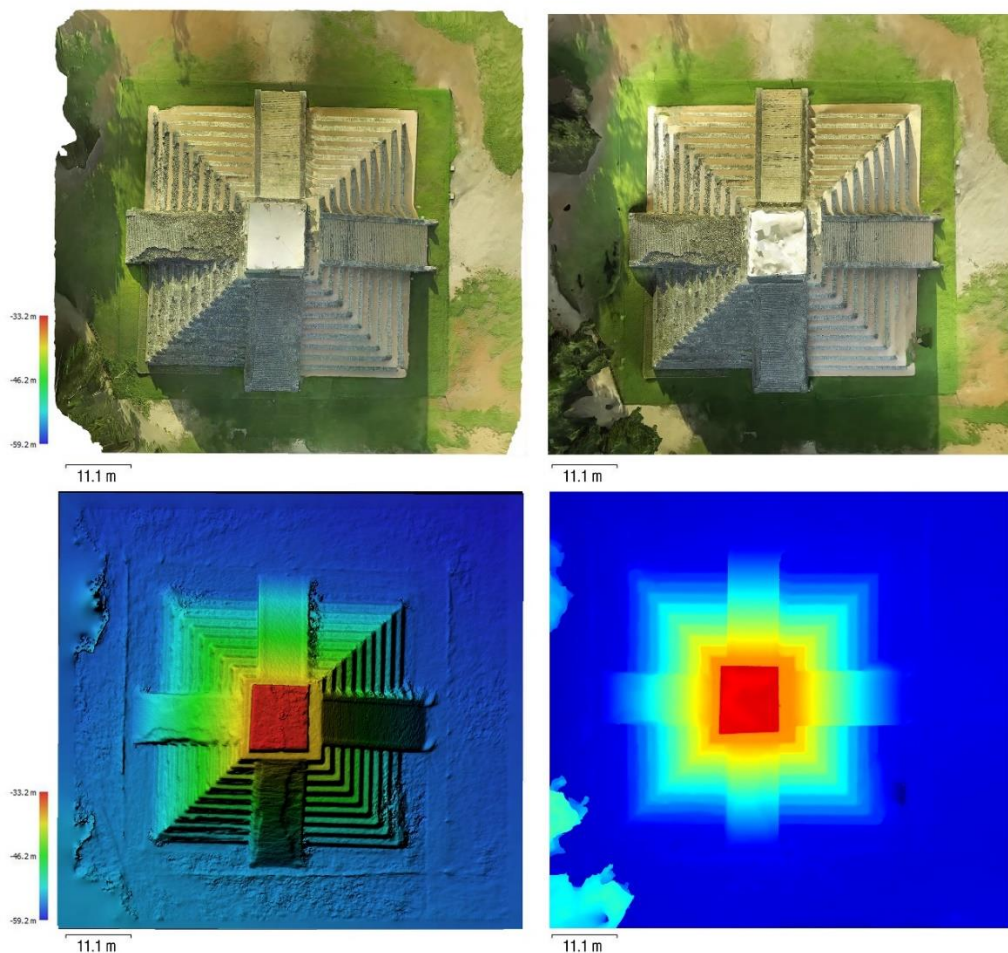


Figura 3.73. Comparativa entre las ortofotografías y los DEM obtenidos en Agisoft Metashape y Reality Capture. En la parte izquierda ortomosaico (superior) y DEM (inferior) obtenidos en Agisoft Metashape a partir de un modelo fotogramétrico de la estructura El Castillo, en el yacimiento maya de Chichen Itzá (Yucatán, México). En la parte derecha ortomosaico (superior) y DEM (inferior) obtenidos, en este caso, en el *software* Reality Capture. El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7NC> [última visita: 26/10/19].

A pesar de esta leve ventaja por parte de Reality Capture, es preciso aclarar que los Modelos Digitales de Elevaciones que se producen mediante Agisoft Photoscan, presentan una mayor calidad y visual y, por ende, se adaptan mejor a los objetos o piezas arqueológicas de pequeño y mediano tamaño. Igualmente, Agisoft Metashape permite seleccionar la fuente de datos a través de la cual se elabora dicha representación gráfica. Por tanto, el DEM puede trazarse a partir de la nube de puntos densa, o a través de la malla geométrica, lo que aumente considerablemente el margen de actuación y los resultados finales. En otras palabras, como técnica de tratamiento de imagen, las representaciones arrojadas por Agisoft permiten, en este caso, una mejor visualización de los detalles morfométricos del objeto digitalizado (fig. 3.75).

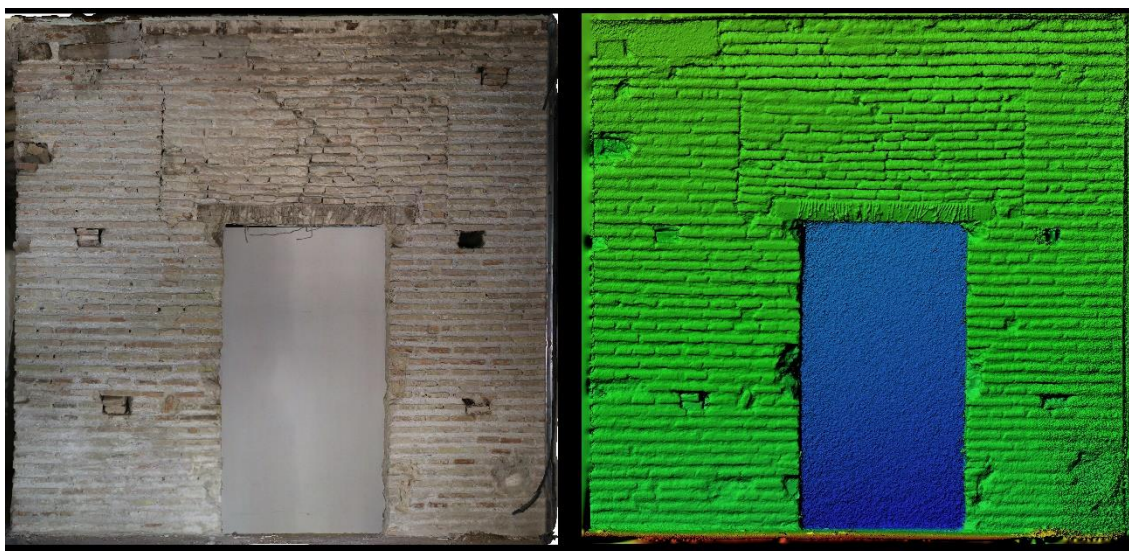


Figura 3.74. Ortofotografía (izquierda) y Modelo Digital de Elevaciones (derecha) obtenidos en el *software* fotogramétrico Agisoft Metashape del modelo fotogramétrico del paramento 3 durante una intervención de urgencia en el Nº 4 del Paseo Padre Manjón (Granada).

Obviamente, la información relativa la cota de altura que proporciona el programa es del todo errónea. Hasta cierto punto, esto no llega a suponer un problema real pues, ya que las ventajas que se buscan con su aplicación atienden más a la necesidad de mejorar la visualización de determinadas partes del modelo. Por ejemplo, en aquellos bajorrelieves o inscripciones profundamente erosionadas, donde las características morfométricas son más fácilmente identificables gracias al contraste de color entre las diferentes alturas relativas que proporciona el Modelo Digital de Elevaciones (fig. 3.72, 3.73, 3.74 y 3.75).

A diferencia de lo que ocurre con las ortofotografías, para el Mapa Digital de Elevaciones no es necesario llevar a cabo el flujo de trabajo fotogramétrico al completo. En este caso la textura resulta inútil y no interfiere para nada en el producto final. Por ello, durante el proceso de creación del Modelo Digital de Elevaciones es preciso dar prioridad a la producción de nubes de puntos densas o mallas geométricas de alta resolución, ya que estas componen las dos fuentes de datos a través de las cuales se generan este tipo de representaciones.



Figura 3.75. Ortofotografía (izquierda) y Modelo Digital de Elevaciones (derecha) llevado a cabo en el *software* fotogramétrico Agisoft Metashape sobre el modelo fotogramétrico de la estela N° 2 del yacimiento maya de Edzná (Campeche, México).

En definitiva, podríamos decir que la principal ventaja de este tipo de procedimiento es la sencillez y rapidez con la que se realiza. A diferencia de técnicas como el RTI Virtual, una vez creada la nube de puntos densa apenas lleva apenas un minuto crear el Modelo Digital de Elevaciones. Sin embargo, el resultado final es solo una imagen estática, una forma más de representación que no trasciende la bidimensionalidad. Una alternativa

plausible en elementos con superficies esencialmente planas, pero cuya visualización se encuentra parcialmente limitada en objetos tridimensionales más irregulares.

3.4.6 La fotogrametría *SfM* y el tratamiento de imagen con Dstrech



Figura 3.76. Primera imagen digital ya decodificada enviada desde Londres a Nueva York en 1921 (parte superior). Muestras de la cinta Baudot que codificaba la información para para transmitir imágenes por sistema Bartlane (parte inferior). Montaje propio a partir de las fotografías extraídas online (Ramis, 2019: en línea).

Hablar de análisis de imagen implica, necesariamente, hablar de la imagen o fotografía de naturaleza digital. El origen de la imagen con formato digital puede remontarse a 1921 cuando se consigue enviar, por primera vez y en menos de 3 horas, una imagen de prensa codificada de Londres a Nueva York (fig. 3.76). Esto fue posible gracias al empleo de un sistema de transmisión por cable denominado *Bartlane* (Gómez, 2017: en línea; Ormeño, 2006: 18; Ramis, 2019: en línea). Este sistema desarrollado por Harry G. Bartholomew y Maynard D. McFarlane (fig. 3.77), permitía codificar una imagen en señales eléctricas. Estas se transmitían a través de la línea telegráfica y se reconstruían mediante impresoras telegráficas especiales en la otra parte del océano, empleando para ello tipografías basadas en un modelo de semitonos grises de 5 niveles de gradación.

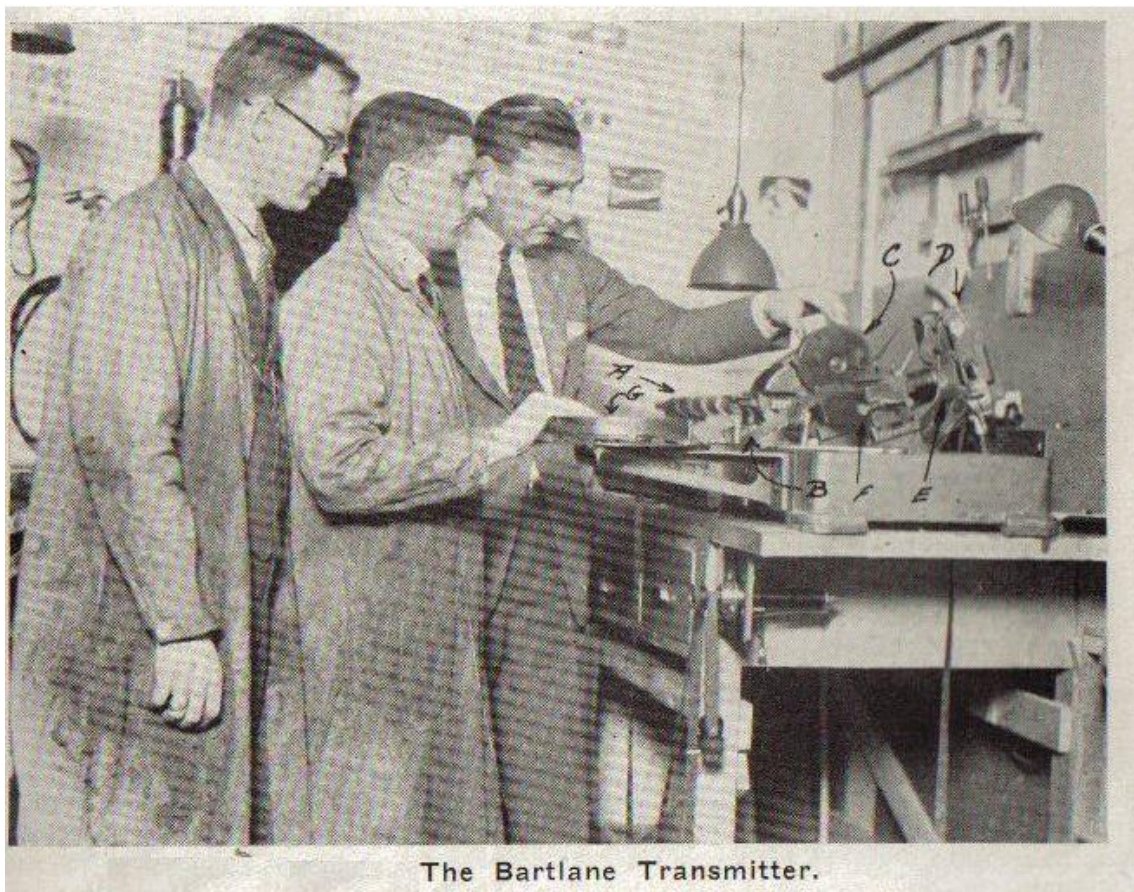


Figura 3.77. Transmisor Bartlane (Ramis, 2019: en línea).

No obstante, el potencial de estas primeras imágenes digitales era aún bastante limitado, pues la información que estas podían almacenar era realmente reducida. A ello

habría que sumar el hecho de que las herramientas empleadas para su codificación y decodificación eran dispositivos completamente analógicos. Será partir de la década de los '60 cuando la combinación de la imagen digital con los crecientes dispositivos informáticos abra un nuevo abanico de posibilidades. Es a partir de este momento, y profundamente ligado a la carrera espacial, cuando comienzan a producirse las primeras pruebas con imágenes de naturaleza digital obtenidas mediante sondas espaciales. Este tipo de imágenes electrónicas permitían ya un alto grado de manipulación y mejora, gracias a la información integrada en su matriz (fig. 3.78).



Figura 3.78. Estructura de una imagen digital de mapa de bits, compuesta por miles de píxeles, las unidades mínimas de visualización que componen este tipo de archivos digitales.

El verdadero salto cualitativo se produce a mediados de los años 70 cuando Kodak presenta la primera cámara con microprocesador y dispositivo de carga acoplada (CCD). Esta nueva cámara fotográfica permitía obtener, ahora sí, imágenes estrictamente digitales y a color.

Sin embargo, tanto estos dispositivos fotográficos como los ordenadores a través de los cuales se procesaban seguían siendo aparatos de precios realmente privativos, lo que limitaría de forma obvia la expansión de su uso.

La generalización del uso de estos dispositivos de captura fotográfica digital y la consecuente expansión de esta no se producirá hasta bien entrada la década de los 90. Un fuerte revulsivo no solo en el ámbito del análisis de imagen sino, como ya se vio, en el marco de la fotogrametría *SfM* y de la Arqueología Virtual en general. La Imagen digital, tanto procesada como de síntesis, es actualmente una de las principales, sino la principal, materia prima del arqueólogo.

3.4.6.1 El formato Wavefront. Gestión y manipulación de una imagen digital de síntesis (IDS)

Antes de abordar el tema del análisis de imagen propiamente dicho, resulta conveniente aclarar el significado y la implicación de una serie de términos muy importantes.

Entorno a la imagen digital, existe una clara distinción entre aquellas imágenes obtenidas a partir de un modelo real y mediante un dispositivo fotográfico físico, las denominadas como imágenes digitales procesadas o IDP, y aquellas otras que se obtienen de forma sintética. Estas últimas, conocidas como imágenes digitales de síntesis o IDS se generan íntegramente en un *software* específico de diseño 2D o 3D.

Un claro ejemplo de este tipo de imágenes de síntesis son los denominados como mapas de texturas. Aunque en este caso, se utilizan como referencia imágenes realizadas con una cámara fotográfica, son resultado de la computación gráfica generada a través de un *software*.

En el ámbito de la fotogrametría, de todas las posibilidades que derivan de la manipulación de estas réplicas tridimensionales, el uso de los mapas de textura es una realidad muy habitual. Precisamente, este es el otro término que, junto al de “formato *wavefront*”, resulta esencial conocer cara a la comprensión del procedimiento de análisis de imagen que se pretende desglosar.

Por norma general, cada *software* fotogramétrico trabaja en base a una extensión de archivo propia, sobre la cual se desarrollan los proyectos conducentes a la obtención de una pieza digital. Habitualmente, cuando creamos un proyecto de estas características en un *software* concreto, este solo puede ser abierto por la plataforma digital que lo ha creado. Este hecho impide que puedan cruzarse proyectos de fotogrametría, completos o inacabados, entre distintos programas como Agisoft Metashape o Reality Capture. Si, por el contrario, lo que se busca es procesar los resultados obtenidos mediante programas fotogramétricos específicos en otras plataformas de modelado tridimensional, es fundamental exportar esta información a formatos más universales. En el mundo de la animación y el modelado tridimensional, uno de los más completos, conocidos e importables es el *Wavefront 3D Object File*, desarrollado por la empresa estadounidense Wavefront Technologies.

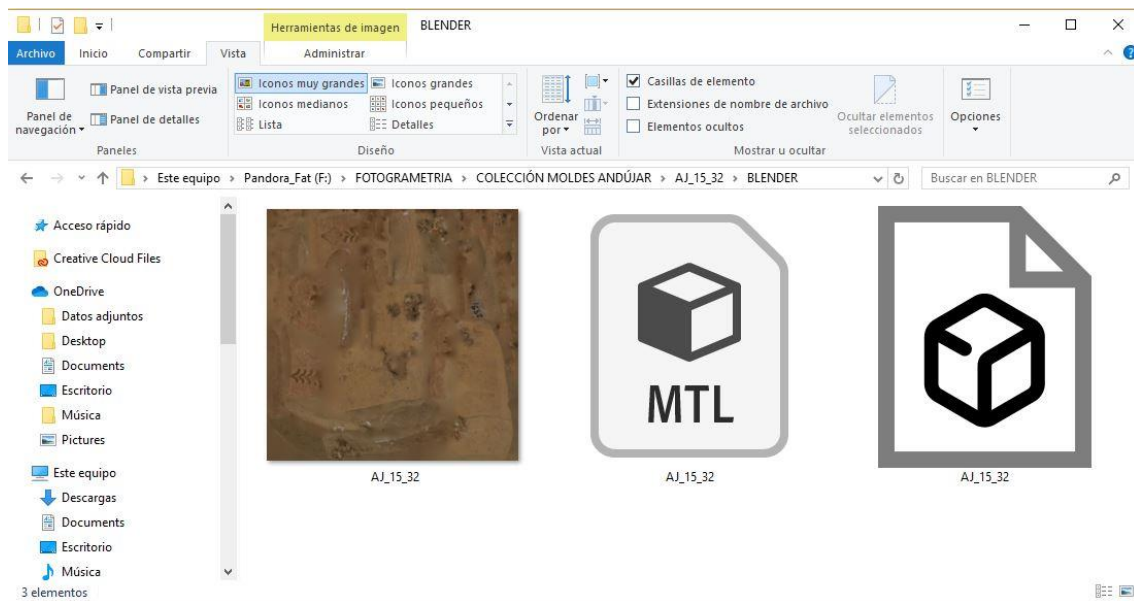


Figura 3.79. Desglose de los archivos que componen el formato .obj. Mapa de texturas (izquierda), modelo tridimensional (derecha) y archivo .mtl que pone en relación ambos (centro).

En fotogrametría *SfM* es normal exportar un modelo a este formato *wavefront 3D Object* (.obj) cuando se pretende llevar a cabo su edición. El hecho por el cual suele preferirse este a otros formatos como el *Standard Triangle Language* (.stl), es que un archivo.obj, además de la malla digital, conserva también la información relativa al color y la textura original de la pieza. Sin embargo, *wavefront* no es un cuerpo unitario, sino que está

conformado por tres archivos diferentes (fig. 3.79). Este paquete lo compone, en primer lugar, el “*3D Object*” (.obj) propiamente dicho, el cual contiene la malla tridimensional, la distribución de sus vértices, caras poligonales, etc. En segundo lugar, junto a la malla digital se genera un archivo de imagen *Joint Photographic Experts Group* (.jpeg), *Portable Network Graphics* (.png) o *Tagged Image File Format* (.tiff), una suerte de mapa bidimensional incomprensible donde aparece desplegada la textura fotorrealista de la réplica fotogramétrica. La tercera pieza del puzzle es, en este caso, un archivo complementario denominado “*Material template library*” (.mtl), un formato de texto ASCII que define la distribución específica de las texturas del modelo 3D, asignando para ello una coordenada específica a cada vértice. De forma muy resumida, este archivo es el encargado de indicar qué parte de la textura (.jpeg / .png) va sobre cada zona de la malla geométrica (.obj).

Como ya se ha comentado, para el humanista digital es de primordial importancia gestionar correctamente los datos que almacenados. En el caso concreto de los archivos *wavefront* esta es una necesidad aún más imperiosa, ya que el extravío de alguna de las partes puede impedir la visualización de todas las características de un modelo fotogramétrico. En efecto, para poder trabajar en un programa de diseño 3D como Blender, estos tres archivos deben funcionar de manera conjunta.

A pesar de lo complejo que puede llegar a ser trabajar con archivos divididos, contradictoriamente los formatos como *Wavefront* benefician también la manipulación de un modelo fotogramétrico. La libertad que implica manejar de forma individual, en archivos independientes, características específicas como la textura o la forma de una pieza, es un potente atractivo cara a la realización de determinados tipos de análisis. En el caso que nos ocupa, la gestión de archivos de imagen como los mapas de texturas que acompañan a un modelo fotogramétrico estándar, puede aportar datos realmente interesantes.

3.4.6.2 *¿Qué es Dstretch?*

A pesar de que siempre ha estado profundamente relacionado con la teledetección y la fotografía aérea (Castaño *et al.*, 1996: 184-192; Ormeño, 2006: 15-300; Pereira-Uzal, 2015: 184-187; Scanvic, 1989: 15-150), el análisis de imagen es una realidad cada vez más habitual en soportes de pequeño y mediano tamaño.

Una de las principales causantes de esta generalización es precisamente la imagen digital. Como hemos visto, a diferencia de la fotografía físico-química, las fotografías digitales incorporan datos en forma de matrices numéricas que, sometidas a operaciones o cálculos matemáticos a través de algoritmos, pueden aportar información de gran relevancia.

Aunque desde un punto de vista más colorimétrico, este tratamiento de imágenes digitales constituye, a fin de cuentas, una forma más y a escala micro de la teledetección. Además de que permite obtener información ajena al espectro visible sin tener contacto directo con su objeto de estudio (Quesada, 2010: 16), la mayoría de los principios y las nociones básicas de las que bebe el análisis de imagen derivan, de hecho, de esta técnica.

En efecto, la teledetección puede definirse como *“la adquisición de información sobre un objeto a distancia, es decir, sin que se haya contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador”* (Castaño *et al.*, 1996: 183). A grandes rasgos, un proceso como la teledetección precisa de tres elementos principales: un sensor, un objeto observado y un flujo energético, cuya interacción está regulada por el Principio de Conservación de la Energía (Vicent *et al.*, 1996: 24; Castaño *et al.*, 1996: 184). Esta es una dinámica básica también en el análisis de imagen, donde el sol se convierte en el flujo energético que, reflejado por el objeto específico que se quiere analizar, es recogido a través de un sensor electrónico pasivo. En este caso, una cámara digital DSLR cuyo funcionamiento está basado en el modelo de color RGB de tres bandas de información.

El resultado suele ser, por tanto, una imagen digital (IDP) basada en píxeles que puede ser manipulada y mejorada a través de operaciones matemáticas como el *Decorrelation Stretching*. Este algoritmo en concreto es fruto de la combinación de dos técnicas de transformación diferentes: la Transformación Karhunen-Loeve y la Transformación a Componentes Principales (TCP). La primera y más importante de ellas, la Transformación Karhunen-Loeve, es la encargada transformar cada espectro individual, en un sistema de coordenadas optimizado para lo que diagonaliza la matriz de covarianza de los colores. Este proceso reduce las posibles variables correlacionadas a representaciones sin correlación lineal (fig. 3.80) mucho más reducidas y fáciles de manipular (Alley, 1996: 4; Hangac *et al.*, 1982: 41; Harman, 2005: en línea). Por otro lado, la Transformación a Componentes Principales es una herramienta habitual en el tratamiento de imágenes que elimina la información superflua y redundante, pero que permite además obtener información no visible de, por ejemplo, un panel con pinturas rupestres (Vicent *et al.*, 1996: 31; Alley, 1996: 4).

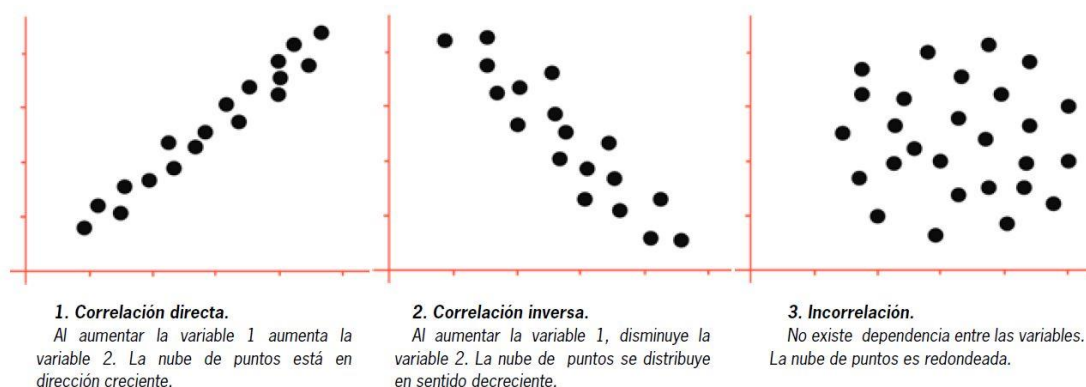


Figura 1 · La correlación entre variables puede ser fuerte o débil en función de la proximidad existente entre los puntos de la nube.

Figura 3.80. Esquema que ejemplifica la correlación y decorrelación de las variables a través de nubes de puntos (Quesada, 2010: 16).

Aplicado al color de una imagen digital, este “Estiramiento por Decorrelación” o *Decorrelation Stretching* facilita la descomposición y exageración de aspectos como la saturación de las bandas RGB (Red-Green-Blue), resaltando así pigmentaciones ocultas, o muy leves (fig. 3.81), que pueden pasar por alto al ojo humano (Campbell, 1996: 1939).

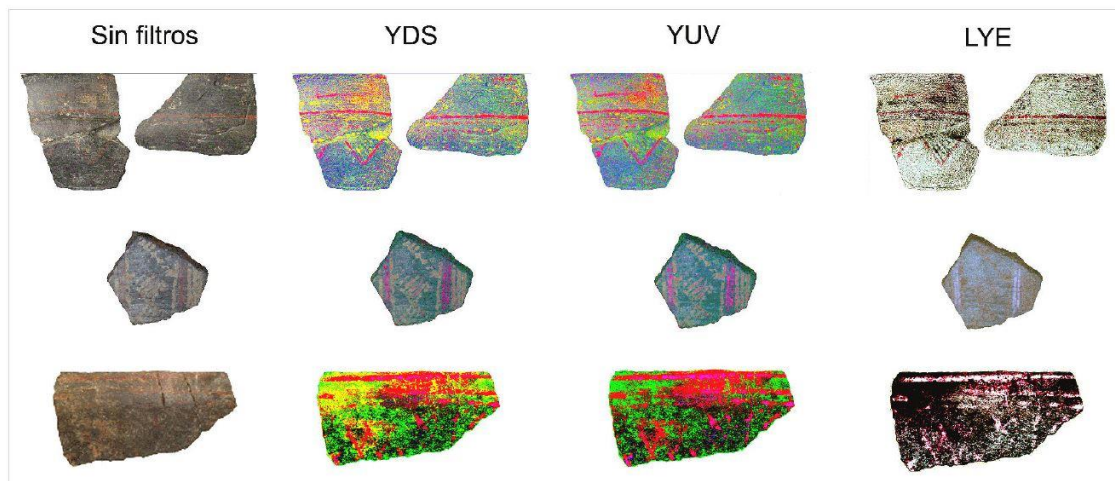


Figura 3. Filtros YDS, YUV y LYE aplicados sobre fragmentos del Bronce Final del Sudeste con decoración pintada.

Figura 3.81. Espacios de color YDS, YUV y LYE aplicados sobre fragmentos cerámicos del Bronce Final del Sudeste con decoración pintada muy deteriorada (Dorado, 2018: 12).

En este marco tan concreto surge la extensión Dstretch (Harman, 2005: en línea), un *plugin* del software libre ImageJ® (ImageJ, 1997; Schneider *et al.* 2012: 672-673) que fue diseñado por el Dr. Jon Harman en 2005. Básicamente, una alternativa eficiente que permite automatizar las operaciones matemáticas conducentes a la *Decorrelation Stretching* de imágenes de naturaleza digital. Al igual que la base informática en la que se inserta (ImageJ), Dstretch se basa en el lenguaje de programación Java y bastante accesible desde el punto de vista económico¹⁰.

Aunque surge inicialmente como una herramienta enfocada al estudio del arte rupestre (Collado *et al.*, 2013: 114-125; Harman, 2005b: en línea), el uso actual de Dstretch pronto trasciende este campo de estudio y, como veremos, su aplicación resulta de gran interés en ámbitos, formatos y realidades diferentes.

¹⁰ Hasta hace unos años la herramienta era totalmente gratuita. Sin embargo, hoy es necesario realizar una pequeña aportación de 50 dólares a Jon Harman.

3.4.6.3 Análisis de imagen sobre modelos fotogramétricos. El uso de Dstretch más allá de la representación bidimensional

*“La imagen digital contiene la información en forma de una matriz bidimensional de elementos contiguos denominados celdillas (píxeles) expresadas en valores numéricos (formato numérico matricial). Las imágenes por tanto pueden ser tratadas mediante procedimientos matemáticos a partir del principio de la existencia de diferencias de reflectancia entre bandas espectrales de un mismo material. Esas diferencias caracterizan al material y constituyen lo que se llama *signatura espectral*” (Vicent Garcia et al., 1996: 24)*

La aplicación de este tipo de análisis de imagen fuera del ámbito del arte rupestre es una realidad prácticamente reciente. En efecto, si aplicada sobre soportes cerámicos es una técnica con un escaso recorrido (Dorado, 2018: 10-12; Lahlil et al., 2013: 2-8; Miller et al., 2015: 19-24), los estudios que combinan técnicas de tratamiento de imagen con modelos tridimensionales obtenidos a partir de fotogrametría son aún más raros. Trabajos como el de Rodríguez et al. (2019: 2-9), donde se trata de poner en relación ambas técnicas informáticas son algunos de los pocos ejemplos. No obstante, los resultados siguen restringiendo una técnica cuyo potencial podría ser mucho mayor, a un marco de representación puramente bidimensional.

La metodología que se propone en esta tesis va un paso más allá. No se limita a aplicar estas herramientas de análisis sobre ortofotografías generadas en Agisoft. Ni siquiera sobre renderizados ortográficos ejecutados en programas de diseño 3D como Blender, sino sobre modelos y marcos de interacción 100% tridimensionales. A este respecto, aunque existen procedimientos similares que utilizan escáneres de luz estructurada modificados para generar modelos tridimensionales con texturas multiespectrales (Haladová et al. 2015: 344), este tipo de instrumental, además de resultar muy costoso, no alcanza la resolución geométrica o la calidad de la textura de una técnica de digitalización como la fotogrametría SfM (Baltsavias, 1999: 84-92; Grussenmeyer et al., 2008: 214-216; Rodríguez, 2012: 101-108; Fassi y Fregonese, 2013: 74-78; Benavides, 2017: 15-500;).

En apartados y subapartados anteriores se ha visto la importancia que entraña la optimización de una réplica digital de gran resolución. En la mayoría de los casos resulta conveniente llevar a cabo un proceso de simplificación de las mallas digitales de nuestros modelos fotogramétricos sin renunciar por ello al detalle de sus formas. La retopología, como se denomina a este tipo de dinámicas, permiten reordenar no solo la malla geométrica, sino también la textura o texturas que suelen acompañar a un objeto virtual. Mediante un flujo de trabajo basado en la retopología no solo es posible trasladar detalles geométricos en forma de archivos de imagen, sino que permite también reordenar la disposición del mapa de textura de color original. Estas texturas almacenadas como .jpeg, .png o .tiff, son independientes, pero a la vez perfectamente compatibles e intercambiables con los archivos que componen un formato *Wavefront* estándar. Aunque la retopología puede aplicarse sobre cualquiera de estos tres formatos, se recomienda, en todo lo posible, trabajar sobre el formato *Tagged Image File Format* (.tiff). Al ser este un formato de comprensión no destructiva y que por tanto mantiene una mayor cantidad de información, su manipulación en entornos de análisis de imagen externos como Adobe Photoshop o ImageJ resulta mucho más efectiva.

¿Qué pasaría, por tanto, si decidiésemos aplicar técnicas de *decorrelation stretching* para mejorar de forma artificial el color, no de una imagen normal, sino de un mapa de textura aplicable sobre un modelo tridimensional?

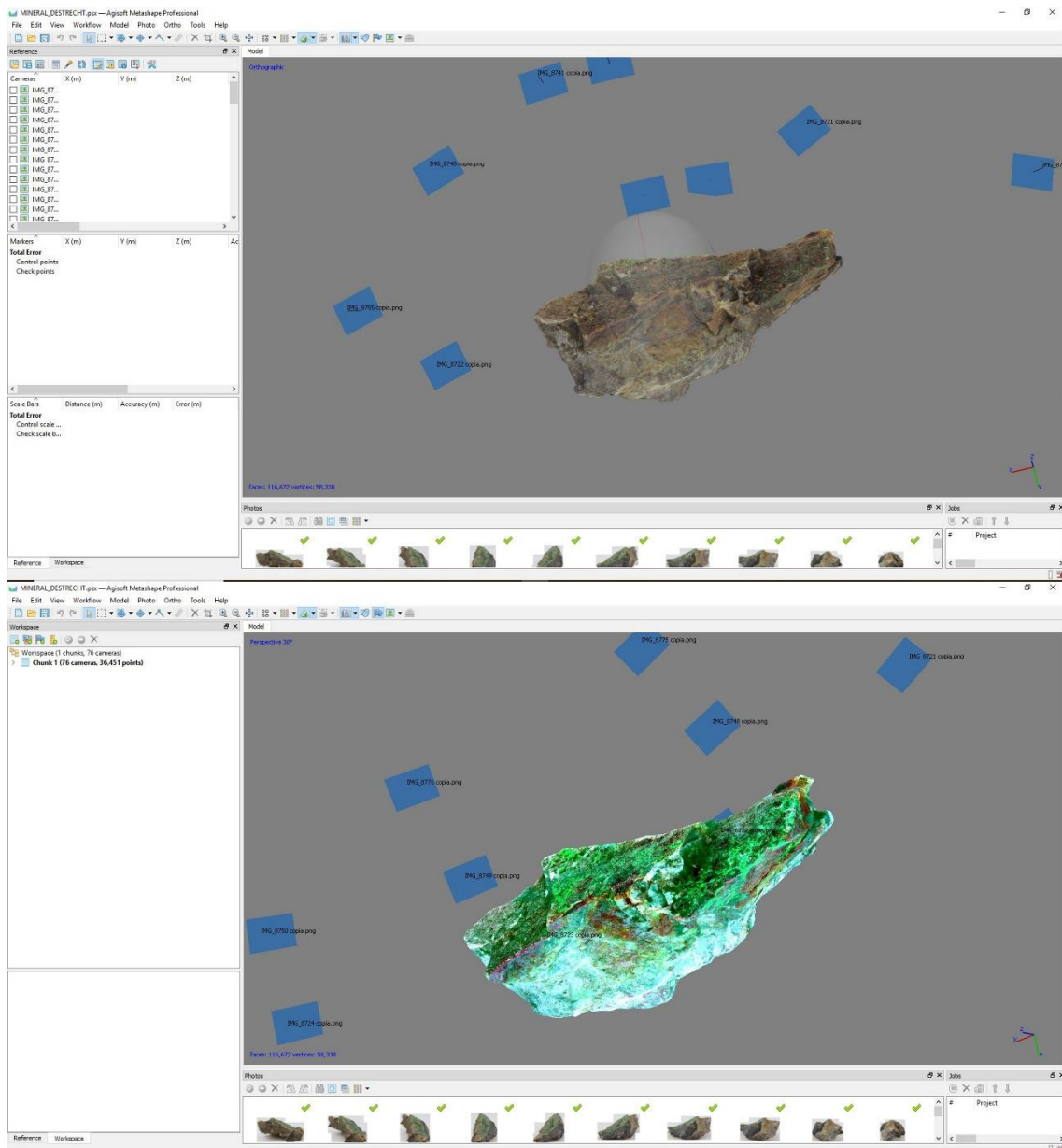


Figura 3.82. Proyecto de Agisoft Metashape de la réplica fotogramétrica de una azurita con un filtro de Dstretch ya aplicado (inferior). Proyecto de Agisoft Metashape original (superior).

En principio, existen dos aproximaciones posibles a la creación de modelos tridimensionales con tratamiento de imagen mediante Dstretch. La primera de ellas, es aplicar las transformaciones en cada imagen, una por una, y de forma previa a la ejecución del modelo fotogramétrico. Sin embargo, este procedimiento resulta cuanto menos tedioso, a pesar de incluir una línea de comandos que automatice hasta cierto punto esta tarea. La otra opción, en la que deriva todo el planteamiento previo resulta mucho más sencilla y rápida. En resumidas cuentas, pasa por aplicar el estiramiento por

decorrelación (Campbell, 1996: 1940-1947; Hangac *et al.*, 1982: 41-45; Harman, 2005b: en línea; Vicent *et al.*, 1996: 31) sobre el mapa de texturas generado por alguno de estos *softwares* fotogramétricos. A pesar de que este procedimiento puede aplicarse gestionando directamente un proyecto de Agisoft Metashape (fig. 3.82) resulta algo más complejo, siendo además recomendable llevar a cabo un proceso retopológico previo. Gracias a ello, se puede rediseñar el despliegue de las coordenadas UVW y hacer más comprensible la textura fotorrealista de nuestro modelo tridimensional. De esta forma, resulta mucho más fácil y eficiente identificar las zonas donde se ubican los restos de pigmentación sobre los que se quiere aplicar el análisis de imagen.

En términos generales, este mapa de texturas es un mosaico generado a partir de las fotografías originales que producen el modelo fotogramétrico¹¹. La información que contienen los píxeles de este archivo de imagen es, por tanto, una selección automática de las propiedades de reflectancia registradas en las fotografías originales y, por ello, conservan datos igualmente veraces. De hecho, el ajuste de valores sugerido para obtener imágenes que procesar en Dstretch (valores como el ISO, la apertura del diafragma o la velocidad de obturación), resulta muy similar al recomendado para llevar a cabo un trabajo puramente fotogramétrico (Quesada, 2010: 17). Asimismo, aunque forma parte de un formato conjunto como *wavefront*, el archivo de imagen se exporta de forma independiente, por lo que no existe ningún impedimento real a la hora de cargar un mapa de texturas en un *software* como Dstretch. Al fin y al cabo, este es una imagen más donde la matriz de covarianza de los colores puede ser decorrelacionada para detectar o evidenciar pigmentos que se encuentran fuera del espectro visible del ojo humano.

¹¹ En este punto es necesario recordar la necesidad, ya mencionada, de emplear en fotogrametría una escala de color estandarizada (como puede ser un dispositivo colorchecker) o similares para ajustar correctamente los parámetros de color e iluminación de nuestras fotografías. Esto resulta tremendamente importante si lo que se pretende es realizar un análisis de imagen y evitar distorsiones cromáticas que incidan en la percepción de los resultados.

Si finalmente se decide obviar el proceso de retopología, cosa que desaconsejamos, realizar un análisis de imagen sobre un mapa de texturas sigue el flujo habitual de trabajo aplicado sobre fotografías normales.

En primer lugar, es necesario instalar el *plugin* Dstretch diseñado por Jon Harman (2005a) dentro del *software* ImageJ (ImageJ, 1997; Schneider *et al.*, 2012: 672-673). Hecho esto, solo se ha de importar el mapa de texturas y aplicar los distintos perfiles o espacios de color que ya vienen predefinidos en la extensión (fig. 3.83). Igualmente, el tratamiento de imagen puede llevarse a cabo bien de forma general o señalando una zona específica. Esto se hace mediante un recuadro de selección que permite aislar grupos de píxeles concretos excluyendo del cómputo aquellas partes que no contienen información relevante y potenciando con más fuerza los colores o pigmentos de aquella zona elegida. Aunque el filtro termina afectando a la totalidad de la superficie de la imagen, la transformación es especialmente fuerte en la zona delimitada por el cuadrado de selección.

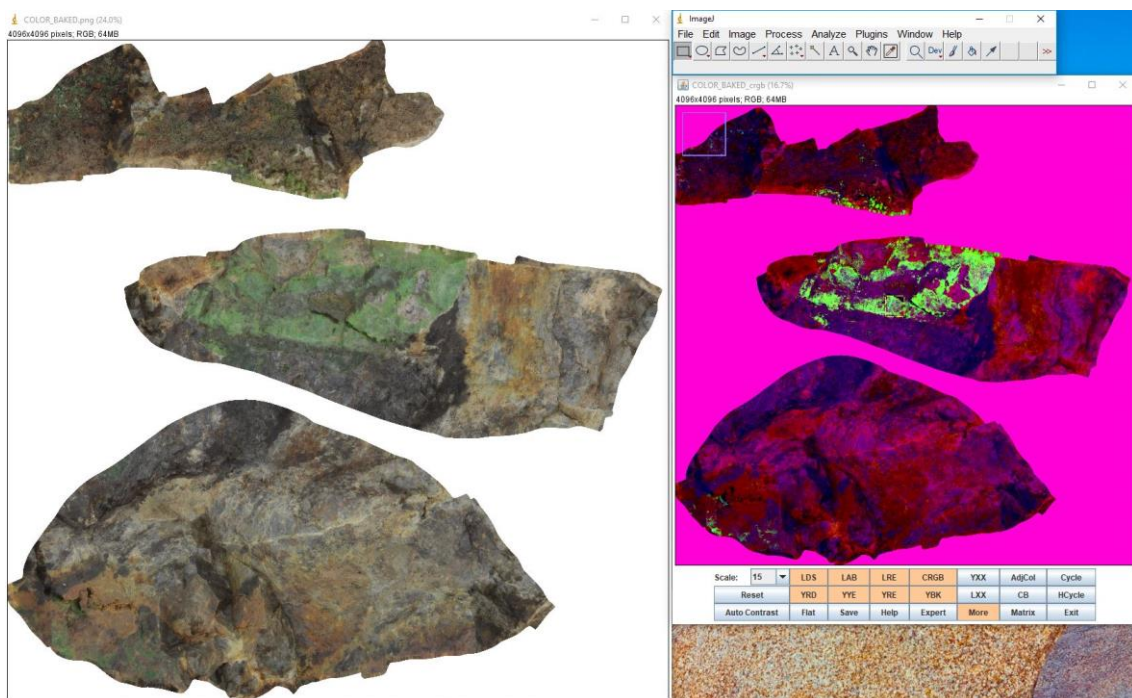


Figura 3.83. Algunos de los espacios de color predefinidos que incorpora el plugin Dstretch de ImageJ.

En principio, cada uno de estos espacios de color viene preconfigurado (fig. 3.83) y se encarga de potenciar alguna tonalidad concreta a través de operaciones algorítmicas

automatizadas (Harman, 2005b: en línea; Quesada Martínez, 2010: 16). Junto a los espacios de color prediseñados por el autor, el usuario tiene habilitado un espacio donde puede configurar de forma manual un filtro personal. Esto resulta muy interesante, pues los filtros desarrollados por Jon Harman están especialmente ideados para trabajar sobre arte rupestre y, por tanto, su funcionalidad solo está perfectamente contrastada en este ámbito.

Aunque la realidad es algo más compleja, el funcionamiento general de estos espacios de color se resume de la siguiente manera. Aplicando los espacios de color estándar RGB o LAB se potencia el espectro colorimétrico en general, exagerando prácticamente toda la gama cromática de la que dispone la imagen y resaltando con ello pigmentos muy leves. Si lo que se busca es aislar la mejora de determinados colores, existe la posibilidad de filtrar a partir de tonalidades específicas. Aunque con ciertos matices, el campo de actuación del resto de los espacios no generales predefinidos por Harman puede agruparse según el color o gama cromática que potencian:

- Para tonos amarillentos: LYE, YDS o LDS
- Para tonos rojizos: LRD, YBR, YRD, YRE, LRE y CRGB
- Para tonos negros y azulados: LBL, YBL, YBK y LBK
- Para tonos blancos: LWE, YWE
- Para tonos verdosos: YBG

Una vez realizado el Estiramiento por Decorrelación en base a estos filtros, Dstretch generar una imagen modificada que puede guardarse en diversos formatos (.tiff, .jpeg, .png, etc.).

En una fotografía normal, el flujo de trabajo finalizaría aquí y, a partir del análisis de esta imagen potenciada, sería posible inferir datos científicos de utilidad. Sin embargo, para poder visualizar el mapa de texturas perfectamente integrado en el modelo fotogramétrico es necesario un paso adicional. El mapa de texturas modificado debe sustituir al archivo de imagen original que acompaña al formato *wavefront*. Esto puede realizarse bien manipulando los nodos de material en Blender o en plataformas online como Sketchfab, donde solo tendremos que cargar el mapa de texturas modificado en

lugar del original. Hecho esto, ya es posible visualizar e interactuar con el modelo tridimensional y su mapa de textura modificado.

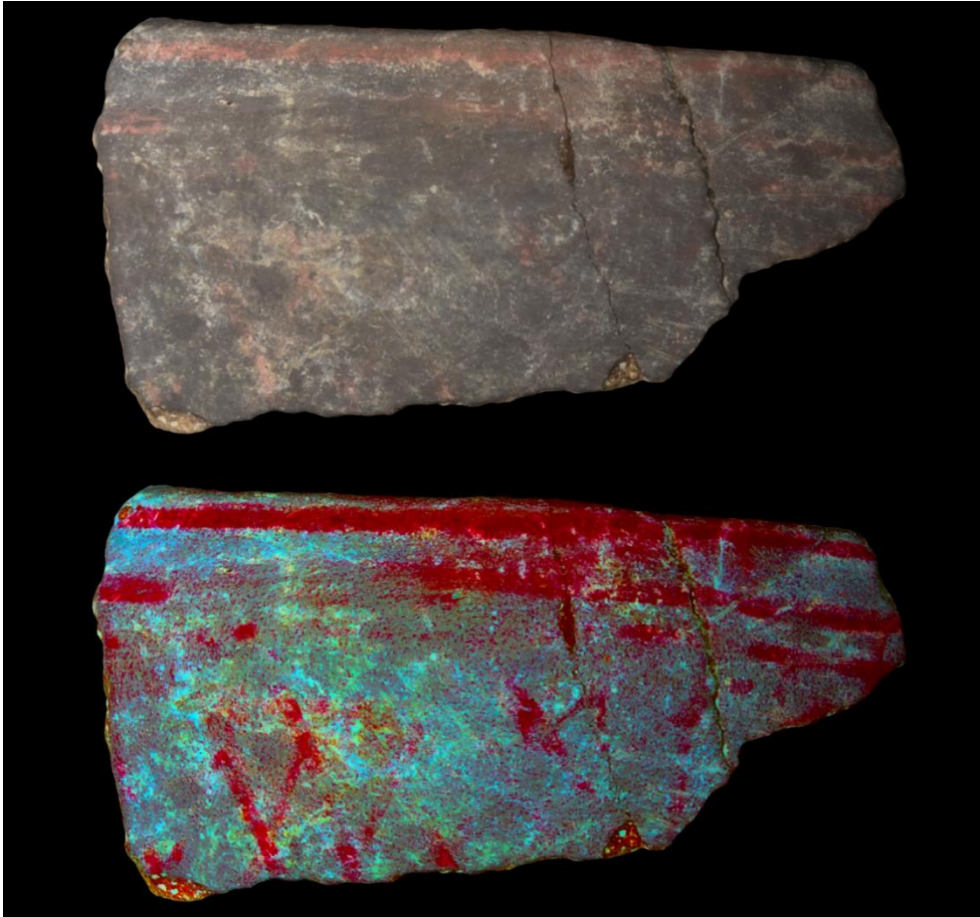


Figura 3.84. Renderizados obtenidos en Blender tras la aplicación del filtro LRE de Dstretch sobre el modelo fotogramétrico de un fragmento cerámico del Bronce Final del Sudeste con decoración pintada pero muy deteriorada. Pieza original (superior) y pieza modificada (inferior) donde se aprecia claramente el realce de los pigmentos rojizos. Ambos modelos 3D comparados pueden consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/7541a75ba8de4314a53848400a02d726> [Última visita: 06/12/19].

En definitiva, la aplicación de Dstretch en los mapas de texturas que se integran dentro de los formatos *wavefront*, en lugar de en imágenes estáticas estándar, permite visualizar las decorrelaciones cromáticas de una forma mucho más holística e interactiva. Este hecho facilita enormemente la identificación de trazas de pigmentos, su naturaleza, los patrones decorativos imperceptibles que pueda haber, las superposiciones de figuras e, incluso, las posibles causas de su degradación (fig. 3.84). Del mismo modo, como se verá en apartados subsiguientes, visualizar tridimensionalmente los resultados de una técnica de tratamiento de imagen como

Dstretch permite llevar a cabo procedimientos adicionales tremendamente útiles. Un claro ejemplo de ello es la creación de réplicas tifológicas impresas (fig. 3.85).

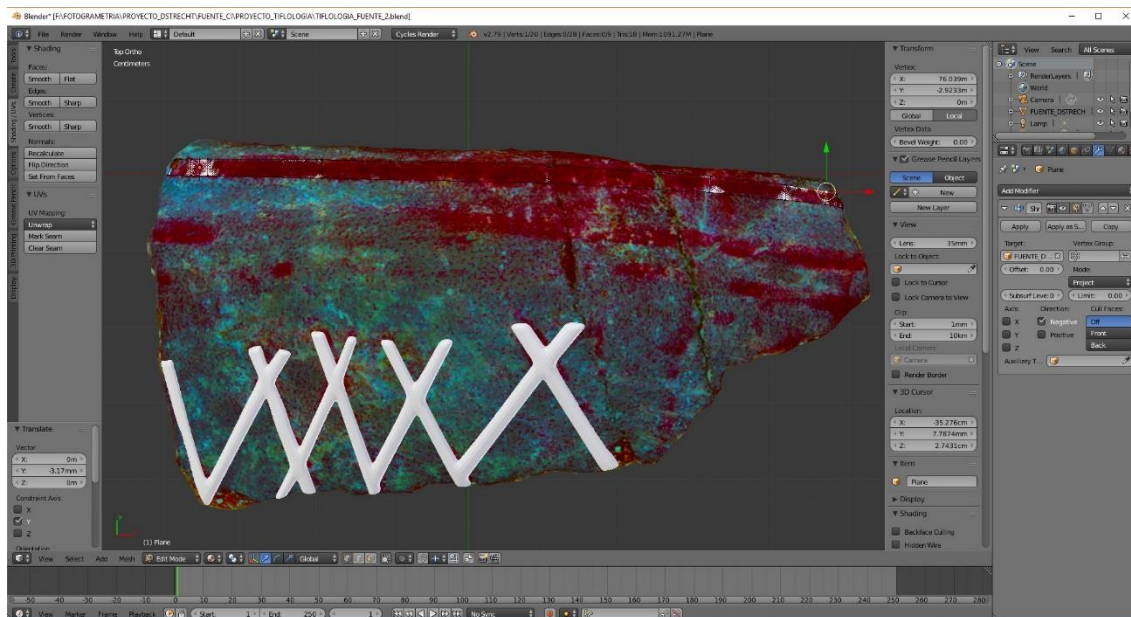


Figura 3.85. Proceso de creación de una réplica tifológica en Blender. A partir del modelo tridimensional tratado con Dstretch, resulta mucho más sencillo extender los apliques o resaltes que darán relieve a la decoración pintada del fragmento cerámico del Bronce Final del Sudeste.

La extensión de ImageJ Dstretch, ideada inicialmente como una herramienta para trabajar en un marco representativo bidimensional, se convierte así en una interesante alternativa a la visualización y análisis habitual de los modelos fotogramétricos. A la relativa rapidez del procedimiento, se ha de sumar la sencillez de una técnica que apenas requiere de conocimientos informáticos y que permite, por tanto, obviar el diseño de complejos cálculos matemáticos (Le Quellec *et al.*, 2015: 56-65). Todo ello, se traduce en accesibilidad y en una inversión de tiempo prácticamente nula una vez creado el modelo fotogramétrico. Un tiempo que puede reducirse aún más empleando comandos de instrucciones capaces de mecanizar el flujo de trabajo (Quesada, 2010: 19).

3.4.7 El registro mediante fotogrametría SfM para una documentación arqueológica de calidad

La Arqueología es una actividad destructiva. Con el paso de los años, este cliché tan sumamente repetido en la mayoría de las aulas que acogen a estudiantes de esta disciplina no ha perdido intensidad. Desafortunadamente, aún no estamos en disposición de descubrir el pasado sin repercusiones evidentes para este. Sin embargo, en los últimos años y gracias a las nuevas herramientas de digitalización, el registro de esta paradójica actividad se ha convertido en un trabajo cada vez más minucioso y completo. Gracias a ello es posible salvaguardar el valor histórico inherente en las unidades estratigráficas que nos vemos obligados a desmantelar (Carandini, 1997: 76).

3.4.7.1 *Fotogrametría de Campo*

En apartados anteriores se comentaba brevemente la existencia de dos dinámicas de fotogrametría bien diferenciadas. Por un lado, todas aquellas tareas de digitalización llevadas a cabo en laboratorio y en cuyos resultados se basan casi completamente esta tesis. Junto a ella, una documentación fotogramétrica cuyo marco de intervención se centraba en la documentación, *in situ*, de una intervención arqueológica. Aunque es un tema que no atañe tan directamente la materia de este trabajo, conviene subrayar las posibilidades de este tipo de fotogrametría a la hora de registrar, documentar y conservar una actividad de índole arqueológica.

A su vez, esta denominada “Fotogrametría de Campo” es fácilmente desglosable en un abanico de formas y campos de actuación. Resulta interesante, en este caso, diferenciar entre dos tipos de elemento objetivo. Junto a la digitalización a gran escala que conlleva el registro de sondeos (Benavides *et al.*, 2016: 505; Moyano, 2017: 333), las estructuras de grandes dimensiones (Mañana-Borrazás *et al.*, 2016: 107; Rouco *et al.*, 2018: 3-29) o yacimientos completos (Benavides, 2017: 340-455), el contexto arqueológico proporciona también elementos de pequeño y mediano tamaño que, en ocasiones, deben ser documentados inmediatamente.

3.4.7.2 Excavación, prospección y gestión del patrimonio arqueológico. Una cuestión de tiempo

La fotogrametría *Structure from Motion* se ha convertido en los últimos años en una de las principales responsables de la creciente meticulosidad documental en Arqueología (fig. 3.24 y 3.86). En efecto, la información gráfica ha sido siempre una parte importantísima de la disciplina arqueológica (Almagro, 2003: 48-79). El avance tanto en *softwares* como en *hardwares*, los cuales son cada vez más potentes, rápidos y accesibles, ha supuesto en los últimos 10 años una masiva integración de estas nuevas dinámicas informáticas en las metodologías de registro arqueológico.



Figura 3.86. Ortofotografía obtenida a partir del modelo fotogramétrico del sector 1 del yacimiento de los Villares de Andújar (Campaña 2018). Fotografías realizadas por Pablo Ruiz Montes, elaboración del modelo fotogramétrico propia.

En términos generales, aplicar fotogrametría *SfM* en una intervención arqueológica aporta un considerable ahorro de tiempo y recursos (Doneus *et al.*, 2011: 82-86; Charquero y López, 2012: 87; Fonstad *et al.* 2013: 422-430; Martín y Romero, 2017: 2.3; Pereira Uzal, 2019: 64). Por otro lado, la documentación resultante aporta datos y un detalle inalcanzable para las técnicas de registro tradicional (Charquero, 2016: 146; Moyano, 2017: 345). Esto es algo lógico si entendemos que el principal objeto de estudio de la arqueología es puramente tridimensional y que, por tanto, el registro mediante técnicas que aborden o capten esta tercera dimensión resulta mucho más idóneo (Lanjouw, 2016: 2).

Por otro lado, uno de los principales condicionantes de la actividad arqueológica es y ha sido siempre el tiempo. El arqueólogo nunca cuenta con el tiempo deseado para lidiar

con su trabajo de la forma más correcta posible. Esto es algo connatural a nuestra profesión de la misma forma en que un artista siempre ve inacabada su obra.

A pesar de ser una dinámica generalizada, esta realidad es especialmente evidente en determinados casos. En una prospección donde el tiempo del que dispone el arqueólogo es considerablemente menor (Clarke, 1977: 15-300), se afianza la necesidad de eficiencia.

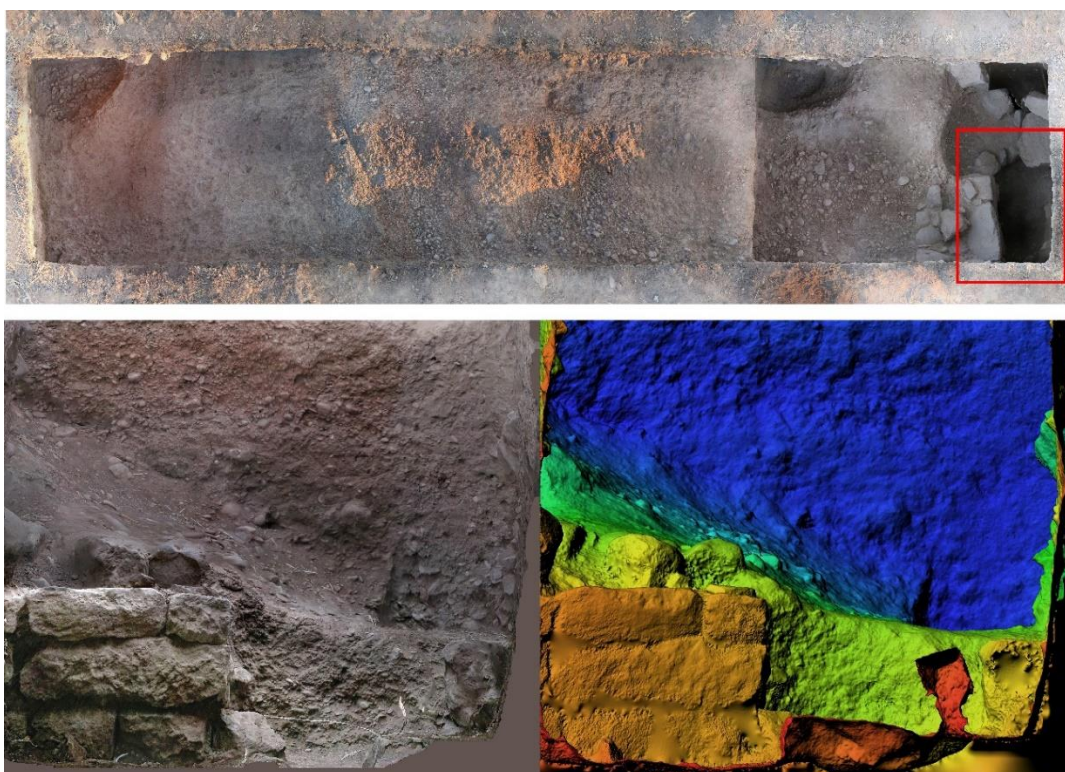


Figura 3.87. Ortofotografía realizada a partir del modelo fotogramétrico del sector 1 del yacimiento de los Villares de Andújar (Campaña 2018). El modelo fotogramétrico fue previamente seccionado para obtener el perfil de la estructura muraria interna (izquierda). Modelo Digital de Elevaciones llevado a cabo sobre la sección para comprender mejor su disposición (derecha).

Aunque este tipo de intervenciones suelen ser de un carácter más extensivo y efímero que una excavación arqueológica, no por ello es conveniente renunciar a la creación de una documentación de calidad. Desde hace algún tiempo, la prospección mediante UVAs (Vehículos aéreos no tripulados) es una opción cada vez más frecuente. Sin embargo, esta alternativa está aún muy limitada por la autonomía que proporcionan este tipo de aeronaves (Campana, 2017: 276-294; Fernández-Lozano *et al.*, 2018: 519-538; Olson *et al.*, 2013: 245-260; Remondino *et al.*, 2011: 14-16; Rouco *et al.*, 2018: ;

Stek, 2016: 1067-1069; Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso, 2016: 510-518; Hill, 2019: 81-89; Mozas-Calvache *et al.*, 2012: 522-528). Si no se conoce de antemano su ubicación y disposición concreta, durante un vuelo de dron se hace muy complicada la localización, y mucho menos digitalización, de los objetos de pequeño o mediano tamaño. Si bien es cierto que pueden generarse modelos tridimensionales de gran extensión, estos no suelen captar con la suficiente resolución aquellos elementos más pequeños situados a nivel de suelo. Un material igualmente interesante para la comprensión de los resultados finales. Es por ello, que este tipo de prospecciones aéreas constituyen un primer acercamiento y suelen complementarse con un trabajo de tierra más específico.

El verbo prospectar parece llevar implícito un claro significado de futilidad. De esta forma, durante una intervención de estas características resulta impensable detenerse en la producción de una documentación excesivamente precisa. Es sencillamente discordante llevar a cabo dibujos detallados a la par que se intenta cubrir la mayor superficie de campo posible. Por ello la fotografía se convierte en una herramienta de uso masivo durante este tipo de actividades. Pero claro, la fotografía tiene sus propias limitaciones. Si bien es un testimonio medianamente veraz de la realidad arqueológica, la imposibilidad de tomar medidas precisas sobre ellas, debido a la distorsión que provoca la perspectiva o la propia óptica, las convierte en una fuente documental hasta cierto punto incompleta (Almagro, 2004: 351; García y Osuna, 2019: 7).

A este respecto, herramientas como la fotogrametría pueden convertirse en un útil complemento, capaz de producir productos con los beneficios de las fotografías tradicionales, pero sin sus principales desventajas. La facilidad que actualmente reviste su uso, así como la generalización de dispositivos móviles con cámaras de gran calidad y fácilmente transportables, convierte a cada integrante del equipo de prospección en un potencial generador de réplicas fotogramétricas. Con ciertos conocimientos de fotografía y una instrucción básica, una persona puede llevar a cabo las fotos necesarias para generar de forma posterior un modelo fotogramétrico. Una alternativa rápida y económica para documentar aquellos elementos que por sus dimensiones no pueden

ser localizados de forma remota, pero tampoco recogidos y cargados durante kilómetros (fig. 3.88).

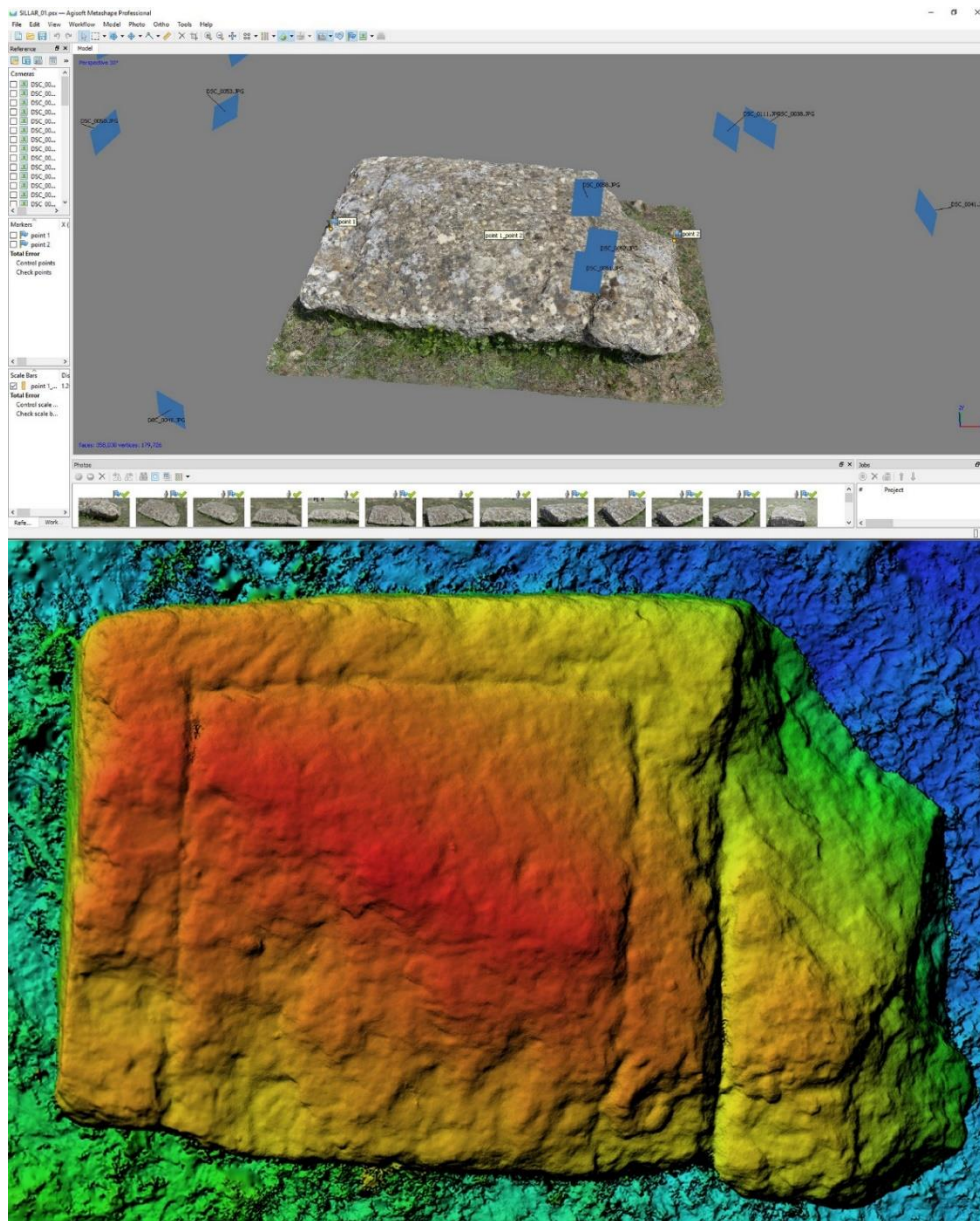


Figura 3.88. Modelo fotogramétrico de un sillar de piedra documentado durante una prospección arqueológica en Alhama de Granada (parte superior). Modelo Digital de Elevaciones (DEM) realizado a partir de dicho modelo (parte inferior). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6IQF9> [última visita: 26/10/19].

La extensión de la fotogrametría *SfM*, mucho más habitual en actividades de excavación, se convierte por tanto en una interesante alternativa para la documentación y el registro que debe desarrollarse durante una prospección arqueológica.

Otro contexto muy condicionado por factores temporales y donde el uso de la fotogrametría *SfM* ha supuesto un considerable desahogo es el campo de la Arqueología Subacuática (Miñano *et al.*, 2013; Moya, 2017). Las dificultades técnicas que supone enfrentarse a un medio sumergido, imbuyen a este tipo de intervenciones de una fuerte necesidad de celeridad sin que ello suponga un perjuicio para su eficacia. Una planimetría mal diseñada es fácilmente rectificable en tierra, pero cometer este tipo de errores en arqueología subacuática implica un considerablemente incremento del tiempo y, sobre todo, de los gastos. Al mismo tiempo, la fotogrametría favorece la realización de análisis posteriores que, en un formato bidimensional típico, resultaría algo impensable. A ello debemos sumar las posibilidades que derivan de su empleo, conjuntamente con técnicas de realidad aumentada, en la puesta en valor, de forma virtual, de yacimientos que resultan inaccesibles para un amplio porcentaje de la población (Soto *et al.*, s. f. y fig. 3.89).

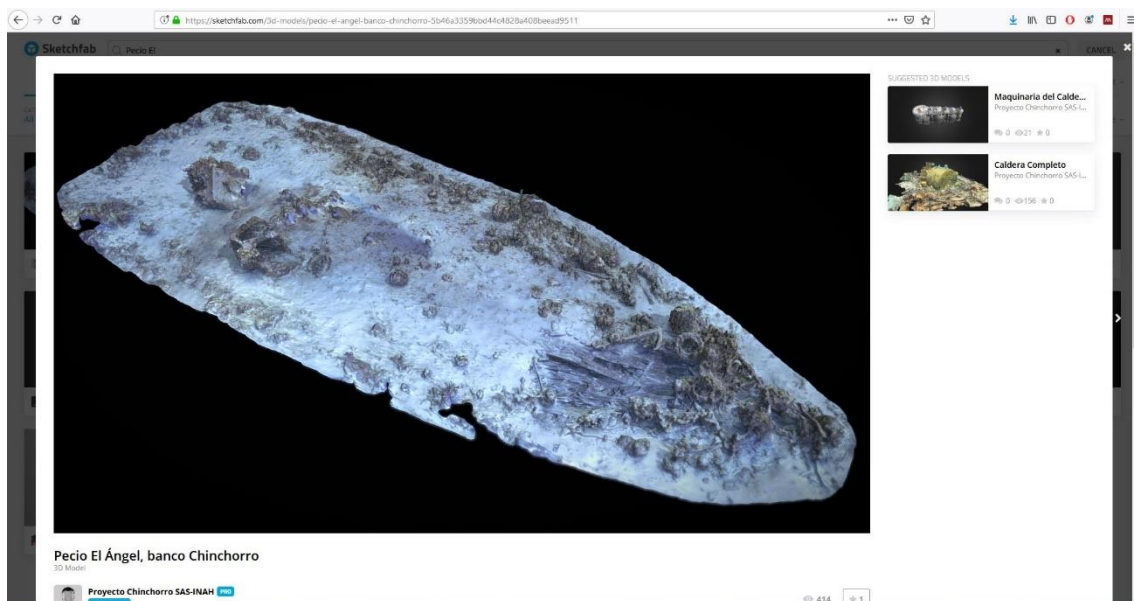


Figura 3.89. Modelo fotogramétrico realizado durante la excavación del pecio El Ángel, en Banco Chinchorro, en el caribe mexicano. La intervención fue llevada a cabo por la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México (Soto *et al.*, s. f.). El modelo puede visualizarse en la plataforma de visualización online Sketchfab (disponible es: <https://sketchfab.com/3d-models/pecio-el-angel-banco-chinchorro-5b46a3359bbd44c4828a408beead9511> [última visita: 25/07/19]).

Como ocurre con la prospección, la Arqueología Subacuática ha encontrado en la fotogrametría una piedra angular sobre la que pivota precisión, eficacia y rédito social

(Bonacchi, 2017: 70; Bonacchi *et al.*, 2014: 61; Moshenska, 2009: 47; Moshenska, 2017: 9; Schadla-Hall, 1999: 148).

Por otro lado, las excavaciones arqueológicas en tierra no son ajenas a este tipo de dificultades. El contexto arqueológico lo conforman elementos de dimensiones muy diversas. Sin embargo, un objeto de pequeño tamaño que, a priori, puede parecerse fácilmente transportable puede terminar convirtiéndose en una pieza tan inmueble como una estructura de gran tamaño. Debido a la inconsistencia del propio contexto arqueológico, a cuestiones políticas, económicas, sociales o meramente temporales, el arqueólogo se encuentra con circunstancias donde se hace necesaria una documentación apresurada. Este tipo de situaciones suelen darse de forma más habitual de lo que se piensa. Una tendencia que, tristemente, supone una forma más e inevitable de destrucción del patrimonio. La denominada como Arqueología de Urgencia (Tabales & Ramírez de Arellano, 2016: 200) es un claro ejemplo de ello. Actividades arqueológicas donde la cantidad de tiempo disponible es inversamente proporcional a los intereses políticos o económicos. Bien aplicada, la fotogrametría SfM se convierte en una herramienta no solo conveniente sino prácticamente indispensable para la Arqueología de Urgencia.

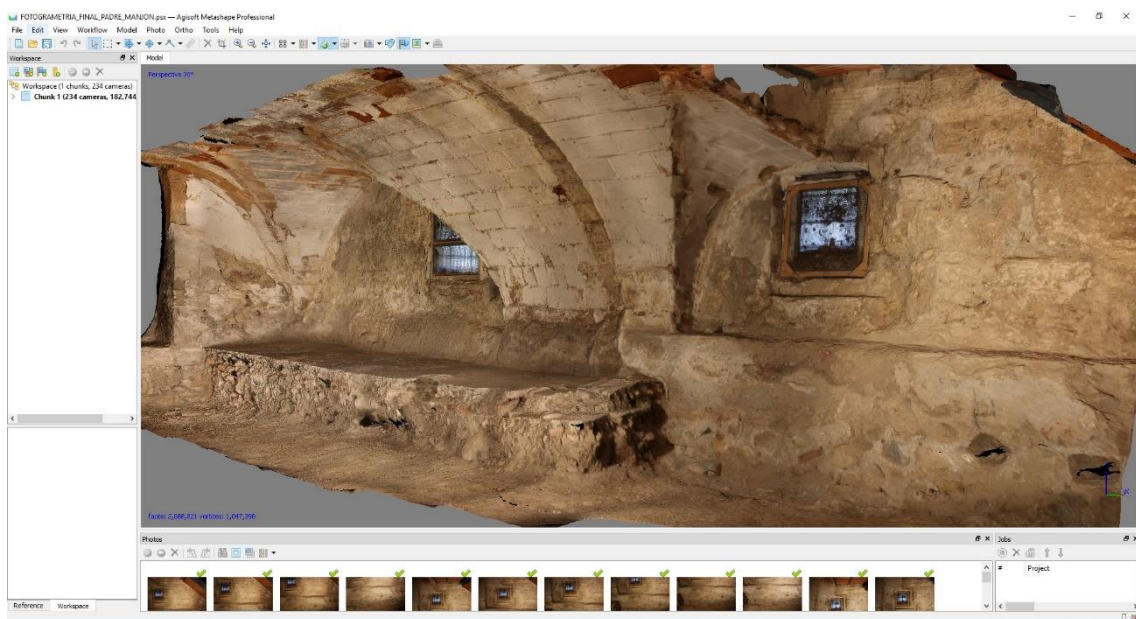


Figura 3.90. Modelo fotogramétrico realizado durante una intervención de urgencia llevada a cabo en una vivienda a reformar en el Paseo del Padre Manjón (Granada).

Un barrido fotogramétrico en un sector de pequeño-mediano¹² tamaño puede suponer 10 minutos a lo sumo. Una vez provistos los datos, las fotografías pueden ser procesadas con mayor calma durante la realización de la documentación. Georreferenciados o no, requieren de una inversión de tiempo considerablemente menor (fig. 3.90) a la que supone elaborar plantas y secciones dibujadas mediante el sistema de registro tradicional. A ello debemos sumar que, aunque en la mayoría de los casos no alcancen una calidad formidable por lo apresurada que resulta su captura, los modelos tridimensionales resultantes son mucho más precisos que cualquier dibujo arqueológico hecho a mano.

Aunque aún se dé cierta connivencia con las técnicas tradicionales de documentación arqueológica, la imparable evolución de las herramientas informáticas favorece que cada vez sean más los grupos de investigación, excavaciones arqueológicas y arqueólogos que abandonan definitivamente la vetustez de los métodos tradicionales de registro en pos de la sencillez, los resultados y, en definitiva, el importante ahorro de tiempo que implica trabajar con fotogrametría multimagén.

3.4.8 Fotogrametría, Arqueología Pública y la mejora de la experiencia turística. El turismo 2.0

“It is the duty of the archaeologist, as of the scientist, to reach and impress the public, and to mould his words in the common clay of its forthright understanding” (Wheeler, 1955: 224).

La naturaleza precedera del patrimonio es una realidad inexorable a la que deben enfrentarse habitualmente los arqueólogos, historiadores y restauradores. Una lucha continua y muchas veces infructuosa por mantener viva una parte de nuestro pasado. A dicha condición consustancial, debemos sumar los múltiples factores externos que pueden favorecer o acelerar este tipo de dinámicas naturales. De entre los ejemplos

¹² De aproximadamente unos 40-45 metros cuadrados.

más conocidos, y probablemente más destructivos, destaca la propia dejadez de una sociedad que no es consciente del tremendo valor de un patrimonio saludable.

Desde hace algún tiempo la riqueza patrimonial desborda la capacidad de gestión de países como España. La correcta conservación del patrimonio implica tanto a nivel local, autonómico o estatal, un nivel de involucración por parte de la administración pública que no siempre se está dispuesto a pagar.

A esta triste realidad se ha de sumar que, tras años de parón debido a la crisis económica, el sector inmobiliario parece rebrotar. Para la Arqueología esto es algo contradictorio pues si bien propicia el crecimiento económico y fomenta el desarrollo profesional de la disciplina, el incremento de las actividades constructivas implica que cada vez sea más y más el patrimonio cultural que aflora sin control. A ello debemos sumar que aún siguen llevándose a cabo excavaciones arqueológicas que no contemplan en sus partidas presupuestarias la consolidación de los materiales y estructuras que presumiblemente buscan, pero que son incapaces de conservar. Restos que, en el mejor de los casos, terminan discretamente cubiertos y relegados a un olvido que terminará consumiéndolos.

Esta terrible situación pone en evidencia la escasa previsión y los serios problemas de gestión que aún hoy afectan a la práctica arqueológica. Obstáculos en su mayoría resolubles, pero que terminan generando a la larga una dinámica de normalización y aceptación del deterioro. Asumiendo la incapacidad para eliminar, o al menos mitigar, el destructivo paso del tiempo sobre monumentos, estructuras y bienes muebles se limitan también los posibles beneficios derivados de integrar este recurso en la sociedad.

Dentro del cajón de sastre que componen las Humanidades Digitales (Schreibman *et al.*, 2004: 15-600), la Arqueología se erige quizá como la disciplina social por antonomasia. Al estudiar el pasado cultural de una sociedad presente en beneficio de las comunidades futuras, su principal aporte no debería ser académicamente exclusivo sino necesariamente social.

En un esfuerzo por recuperar este sentido de accesibilidad aparece por primera vez en 1972 el término de Arqueología Pública (McGimsey, 1972: 15-200). Hasta este momento, la disciplina arqueológica nunca se había preguntado cuál era su papel frente a un público general no especializado. Ni siquiera se planteaban la posibilidad de que la misma sociedad podía afectar a la conservación de su propio pasado. Como bien apunta Tim Schadla-Hall (1999: 147), la Arqueología Pública es *“cualquier área de actividad arqueológica que interactúa o tiene el potencial de interactuar con el público, la gran mayoría de los cual, por diversas razones, sabe poco acerca de la arqueología como materia académica”*. Hoy está perfectamente asumido que una sociedad consciente de su historia es, sin duda alguna, la herramienta más efectiva para garantizar la conservación de esta. A pesar de ello, tradicionalmente el arqueólogo ha centrado sus esfuerzos en la divulgación más que en la difusión. Efectivamente, extender el conocimiento entre un reducido y especializado grupo de profesionales es un paso necesario, pero solo supone un primer escalón de un largo tramo de escaleras que hay que subir.

En el primer capítulo de esta tesis se analizó la evolución en torno a la concepción del patrimonio y como este ha terminado convirtiéndose en un elemento cuya “propiedad” se ha hecho cada vez más universal. Pero este es un producto material, físico y carente de valor si su comprensión no resulta lo suficiente clara y completa. Obviamente, es necesario no solo mostrar la majestuosidad del monumento, como hacían los emperadores, reyes y tiranos en el pasado, sino concienciar a la sociedad de una forma participativa, transparente y accesible del valor histórico que hay detrás.

Para ello, la Arqueología Pública debe descentralizarse y moverse del centro a la periferia de la investigación científica, tratando así aquellos problemas que surgen de la integración de esta en el mundo real (Ascherson, 2000: 2). Como producto humano, el sino de la Arqueología se encuentra profundamente influenciado por el devenir económico. Y es este, precisamente, uno de los principales obstáculos para la socialización de esta disciplina.

Pero, ¿existen realmente soluciones efectivas de conservar y difundir el patrimonio que no pasen por la obtención de cuantiosas subvenciones y tediosos trámites burocráticos? La respuesta no es ni debe ser sencilla, pero integrar de forma pautada la Arqueología Pública, las innovaciones tecnológicas y una nueva concepción de turismo puede ser una interesante alternativa.

Como se ha visto al inicio de este capítulo, la generalización de la Fotogrametría *SfM* y del resto de herramientas informáticas que se aplican actualmente en las labores arqueológicas, supone un verdadero punto de inflexión dentro de la gestión patrimonial. La Arqueología se ha caracterizado siempre por readaptar técnicas y herramientas procedentes de otros campos y emplearlas en su propio beneficio. Habitualmente con bastante éxito. La generalización de términos como el de “Arqueología Virtual” (Forte y Leclant, 1996: 15-220; Forte y Siliotti, 1997: 15-200; Reilly, 1991: 133-137) o “Ciber-Arqueología” (Forte, 2011: 15-100) es una prueba más que evidente de la fuerza de este tipo de sinergias.

En este nuevo marco, la combinación de esta técnica de digitalización, junto con dinámicas retopológicas o plataformas de visualización online como Sketchfab, se convierten en interesantes alternativas *low cost* a los procedimientos tradicionales de conservación (Maldonado, 2019: 28-29). Pero más allá de ello, dinámicas más generales como la difusión o la puesta en valor del patrimonio se ven igualmente beneficiadas por estas nuevas aplicaciones informáticas.

A raíz de esto, surge una nueva forma de difusión patrimonial basada en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), profundamente ligada al marketing y, como no, en el empleo de las nuevas herramientas informáticas. Un turismo innovador, que sepa adaptarse a las necesidades de una sociedad actual hiperconectada y en continua evolución. Un turismo 2.0 mediante el cual sea posible dar salida a algunos de los productos o “mercancías” que genera la práctica arqueológica moderna (Moshenska, 2009: 46-48). Esta nueva concepción turística aparece como una nueva forma, diferente, pero más efectiva, de aprovechar la masificación de la denominada Web 2.0, de entender internet, de otorgar a los usuarios un mayor grado de interacción y

convertirlos así en cocreadores de contenido (Chamorro, 2008: 31; Domínguez y Araújo, 2012: 226; Perdomo *et al.*, 2014: 126-127). Ajena inicialmente a los productos patrimoniales de naturaleza digital provistos por herramientas como la fotogrametría, con el paso del tiempo la tendencia se ha revertido considerablemente. Así, gracias a la democratización de este tipo de técnicas, la imparable expansión de los smartphones (figs. 3.91 y 3.92), la aparición de plataformas online que permiten visualizarlos de forma sencilla y gratuita, el surgimiento de una sociedad hiperconectada donde internet y el mundo virtual son realidades cada vez más omnipresentes, la integración de este tipo de materiales parece un hecho consolidado (Bayod, 2017: 61; Caro *et al.*, 2015: 932-943; Jover *et al.*, 2017: 29-35; Maldonado, 2019: 28-29; Ruiz, 2017: 39-52). Quizás se deba hablar ya de una nueva versión 3.0 o, al menos, de una versión actualizada del antedicho turismo 2.0.

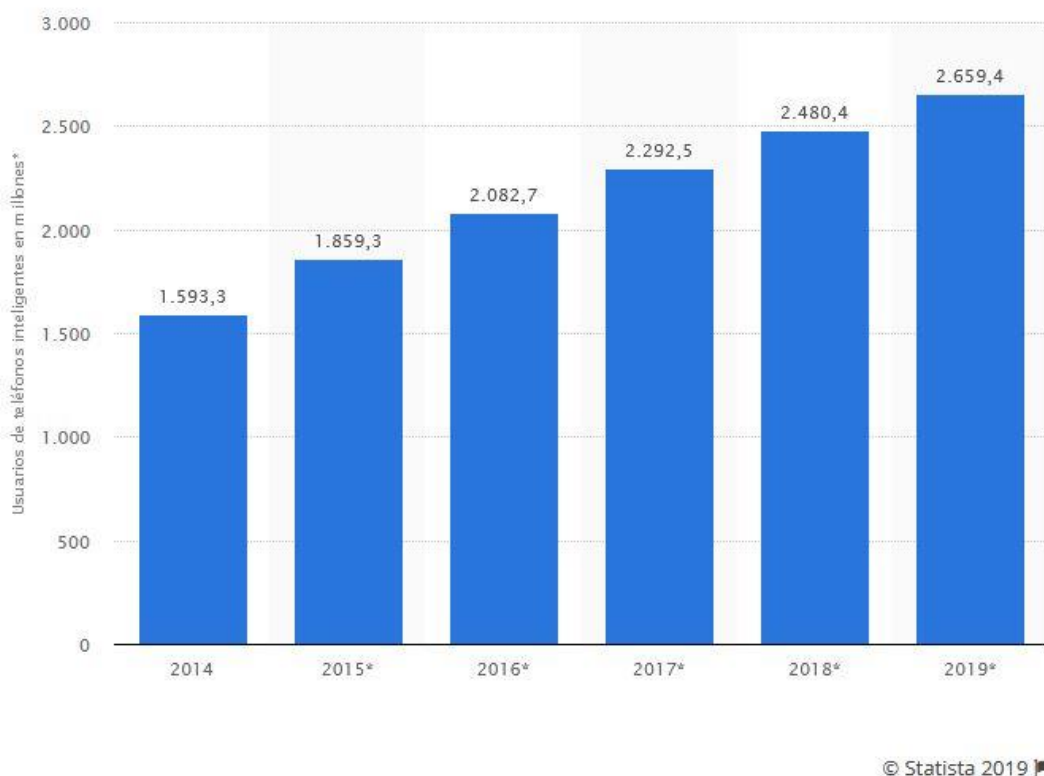
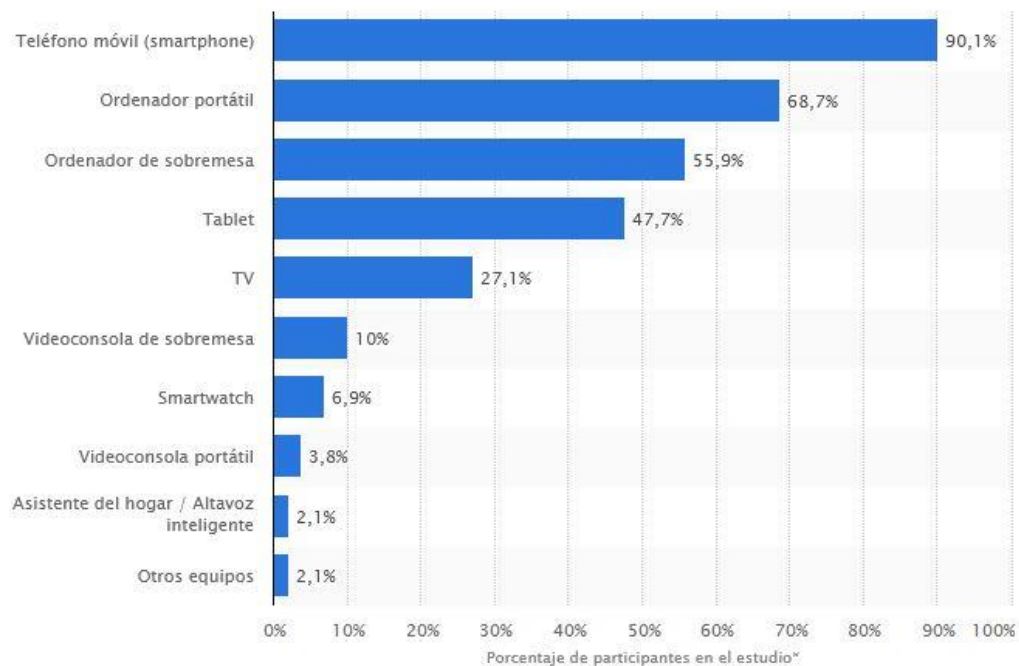


Figura 3.91. Número de usuarios de teléfonos inteligentes a nivel mundial 2014-2019 (en millones). (Extraído de: <https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial--2019/> [última visita: 29/07/19]).



© Statista 2019

Figura 3.92. Porcentaje de uso de los teléfonos inteligentes en España entre 2014-2019., en comparación con otros dispositivos electrónicos. (Extraído de: <https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial--2019/> [última visita: 29/07/19]).

Los perjuicios sociales derivados de esta nueva tendencia son una realidad innegable cuya exposición escaparía a los objetivos de esta tesis. Sin embargo, también es posible extraer beneficios de una situación como esta.

Se han de diferenciar aquí dos visiones distintas, pero no distantes, del uso de este nuevo turismo 3.0 en el marco del patrimonio cultural. Por un lado, aquellos enfoques conducentes a la elaboración de una experiencia turística íntegramente digital. Visitas, a través de herramientas como la realidad virtual o la realidad aumentada, que permitan volver a contextualizar una pieza previamente digitalizada en entornos mucho más interactivos como un museo virtual (fig. 3.93). Con unos fondos y una disponibilidad impensables para una institución tradicional, los entornos digitales destinados a la difusión patrimonial se convierten en opciones excelentes para personas con movilidad reducida o para aquellos turistas con presupuestos muy reducidos y que no quieren renunciar a un conocimiento más globalizado del patrimonio.

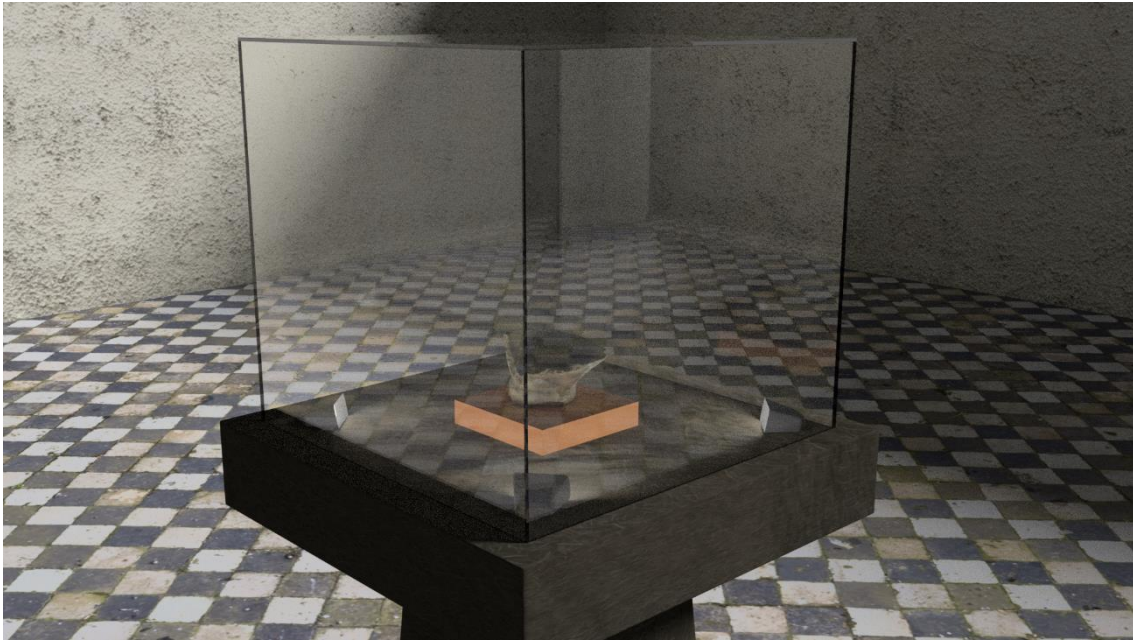


Figura 3.93. Propuesta de musealización virtual con piezas fotogramétricas reales recreado mediante Blender.

De hecho, a día de hoy son muchas las instituciones museísticas que compaginan sedes estrictamente físicas con este tipo de alternativas online para la visualización de sus colecciones. Hace ya algunos años que mediante aplicaciones propias o a través de servicios gratuitos como Google Street View basados en panorámicas 360º, es posible visitar los principales museos mundiales sin siquiera salir de casa (fig. 3.94). No obstante, la inclusión de las tecnologías basadas en la realidad virtual que combinan motores de juego, fotogrametría y tecnología de captura 360 º, proporciona a día de hoy experiencias mucho más inmersivas, pero muchas veces económicamente inaccesibles.

Sin embargo, este tipo de dinámicas no potencian única y exclusivamente un tipo de actividad online donde los visitantes puedan realizar recorridos virtuales desde casa. Más allá de ello, tratan de potenciar la experiencia turística tradicional incorporando materiales digitales a las rutas y recorridos ya trazados (Grima, 2017: 74-90). Algo tan sencillo y económico como añadir carteles informativos con códigos QR (Carbonell *et al.*, 2016: 666) que al ser escaneados remitan a repositorios online donde estén alojados nuestros modelos tridimensionales y toda la información referente a ellos (figs. 3.95 y 3.96). A día de hoy existen plataformas online como Thingiverse®, 3D Warehouse® y, especialmente, Sketchfab, alternativas muy interesantes y gratuitas que posibilitan la

visualización e interacción directa con el modelo tridimensional a través del propio navegador, sin necesidad de tener instalada ninguna aplicación específica de visionado 3D (Saorín *et al.*, 2017: 35). Por otro lado, existen numerosas aplicaciones y dominios web que dan la posibilidad de crear y escanear códigos QR (*Quick Response*) estáticos o dinámicos sin ningún tipo de coste. El código QR fue creado en 1994 por la compañía japonesa Denso Wave y basa su funcionamiento en la conversión de los URL (*Uniform Resource Locator*), los cuales permiten localizar y recuperar los recursos web, en una especie de código de barras que se pueden leer a través de las cámaras de los dispositivos móviles o tablet.

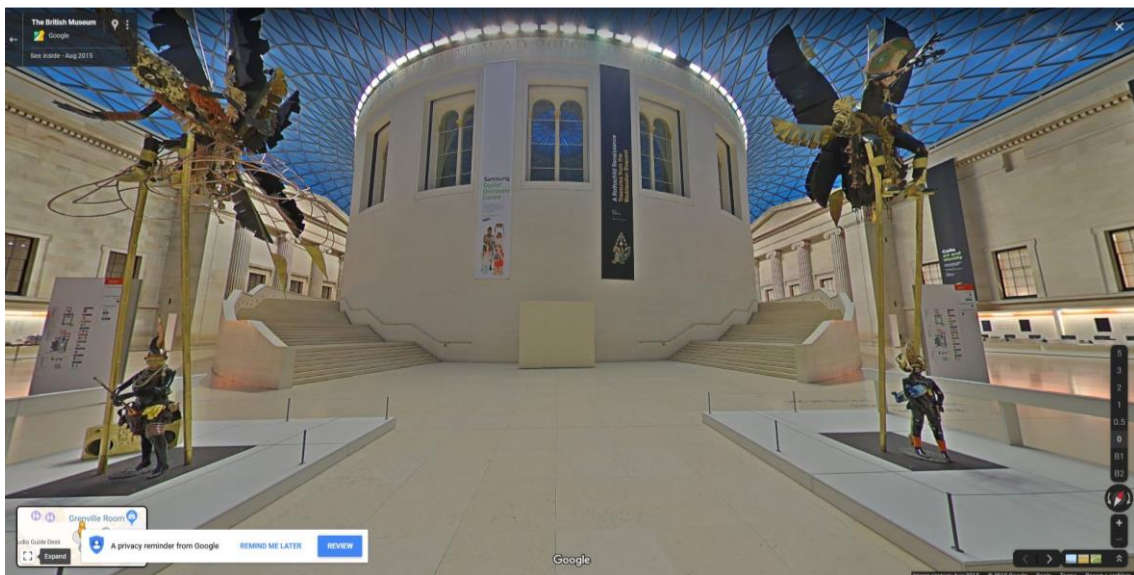


Figura 3.94. Captura del Google Street View en el Museo Británico (disponible en: <https://www.google.co.uk/maps/@51.5191138,-0.1266662,2a,75y,325.79h,112.03t/data=!3m6!1e1!3m4!1s8DqI3blmb7tmDj62GnKV7Q!2e0!7i13312!8i6656?hl=en> [última visita: 27/07/19]).

Para las pruebas llevadas a cabo durante esta tesis se emplearon QR Code Generator (Drescher y Engelking, 2019: en línea) para enlazar los modelos tridimensionales alojados en Sketchfab y generar así un código QR específico y, de forma adicional, la aplicación móvil también gratuita Lector de Código QR (AA.VV., 2018) que permitía su posterior escaneo. Sin embargo, numerosos modelos de smartphones llevan ya integrado un lector de códigos QR propio, por lo que no resulta necesario descargarlo.



Figura 3.95. Renderizado a partir del modelo fotogramétrico optimizado realizado sobre el Caño Wamba (Alhama de Granada, Granada). El modelo tridimensional puede ser consultado de forma completa escaneando con nuestro smartphone el código QR situado en la esquina inferior derecha. Esto puede hacerse descargando la app gratuita de “Lector de Código QR” de Green Apple Studio o alguna otra similar. Este tipo de aplicaciones están disponibles en la AppStore o Play Store. También puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/cano-wamba-8f7b4cba279c40749f073e147669403c> [última visita: 22/10/2019].

Esta idea se basa en el movimiento BYOD “*Bring Your Own Device*”, una práctica creciente en una sociedad tan tecnificada donde los *smartphones* se han convertido en el centro de la vida personal y laboral (Adams *et al.*, 2016: 36; Saorín *et al.*, 2017: 33). De esta forma, “trayendo sus propios dispositivos móviles” dotados de cámara fotográfica e internet, el turista de la era digital puede acceder de forma sencilla, totalmente libre, inocua y detallada a los diferentes monumentos digitalizados. De igual modo, aquellas partes cerradas al público o de difícil acceso pueden ser ahora visualizadas de forma virtual e interactiva. Esta nueva perspectiva de visualización no implica reemplazar la visita física, pero si hacerla mucho más completa, atractiva y dinámica. Algo especialmente interesante de cara al público más joven.

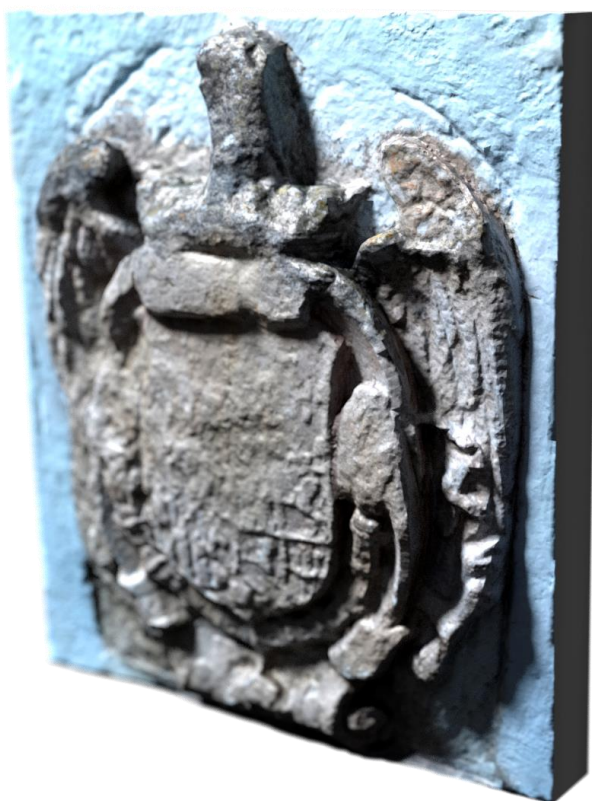


Figura 3.96. Renderizado a partir del modelo fotogramétrico optimizado realizado sobre el Escudo de Carlos I que hay adosado a la parte trasera de la sacristía de la Iglesia de la Encarnación. Además de mediante el código QR inserto, el modelo 3D también puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/escudo-fuente-plaza-de-los-presos-0a89ee7124ed4cff957f1aecd2954ccc> [última visita: 22/10/2019].

La vorágine tecnológica que nos envuelve actualmente conlleva una readaptación de nociones básicas que creíamos inamovibles. El concepto de turismo y de difusión patrimonial es, sin duda, una de ellas. Probablemente, en años venideros estas herramientas dejen de ser una opción atractiva para convertirse en algo obligatorio sin lo que será impensable competir en el sector turístico. En este nuevo contexto, negarse a seguir las nuevas dinámicas supone no solo limitar las posibilidades económicas de un municipio, sino restringir además la conservación de un patrimonio que debiera ser universal, accesible y conocido.

Del mismo modo, el desmesurado y creciente volumen patrimonial dificulta enormemente su gestión mediante aquellos mecanismos más tradicionales. Frente a las persistentes limitaciones de este plano físico, el formato digital emerge como un bálsamo que aporta alivio, o al menos mitiga, la presión de esta inevitable realidad.

Obviamente, existen muchos e importantes condicionantes en torno al uso de estas nuevas herramientas de digitalización, ya que nada es infalible. No obstante, la evolución en este campo es consistente y estos procedimientos, en un estado constante de optimización, suponen una alternativa cada día más real.

A lo largo de este apartado se ha intentado mostrar una alternativa, económica y accesible para la potenciación del turismo de aquellos pequeños núcleos urbanos que, envueltos en fenómenos de despoblación cada vez más acentuados, ven como su rico patrimonio queda indefenso frente al olvido social e institucional. Una nueva concepción que no pretende sustituir, sino respaldar y servir como acicate para un nuevo tipo de turista. Un consumidor cultural cada vez más exigente, tecnificado y conectado.

En definitiva, la indiferencia y el abandono inconsciente se convierten en nuestros más terribles enemigos. Cuando los recursos son limitados, la obviedad del desconocimiento legitima el deterioro y la degradación de la cultura material. Contra esta triste realidad la única opción es una difusión coherente y persistente que permita colocar, en primer plano turístico, la riqueza cultural de nuestros municipios. Y es aquí donde más pueden aportar, sin duda alguna, procesos como la fotogrametría o flujos de trabajo que, como esta, conlleven la digitalización y puesta en valor de un patrimonio que es de todos.

3.4.9 Fotogrametría SfM e impresión 3D. La accesibilidad y difusión del Patrimonio

Cuando hace casi tres décadas Paul Reilly (1991: 133-137) describía la Arqueología Virtual, su mente discurría en torno a la posibilidad de digitalizar y volver a materializar el contexto arqueológico. Tantas veces como fuese necesario y con el objetivo de reexcavar en un ambiente controlado, y de forma mucho más precisa, los fenómenos de deposición y postdeposición de una realidad arqueológica concreta. Aunque aún no resulta viable llevar a cabo la utopía ideada por Reilly, las posibilidades de herramientas actuales como la Fotogrametría *SfM* no se limitan única y exclusivamente al marco

virtual. Desde el inicio de esta tesis se viene haciendo hincapié en las bondades derivadas de los materiales digitales y de las ventajas de trabajar en un ámbito puramente virtual. Esto quizás parezca contradictorio, pero de algún modo el ser humano es un animal táctil en el que sigue existiendo la necesidad de una manipulación mecánica y directa con su entorno material más próximo. Todo esto no deslegitima lo anteriormente dicho, sino que justifica aún más el uso de este tipo recursos virtuales.

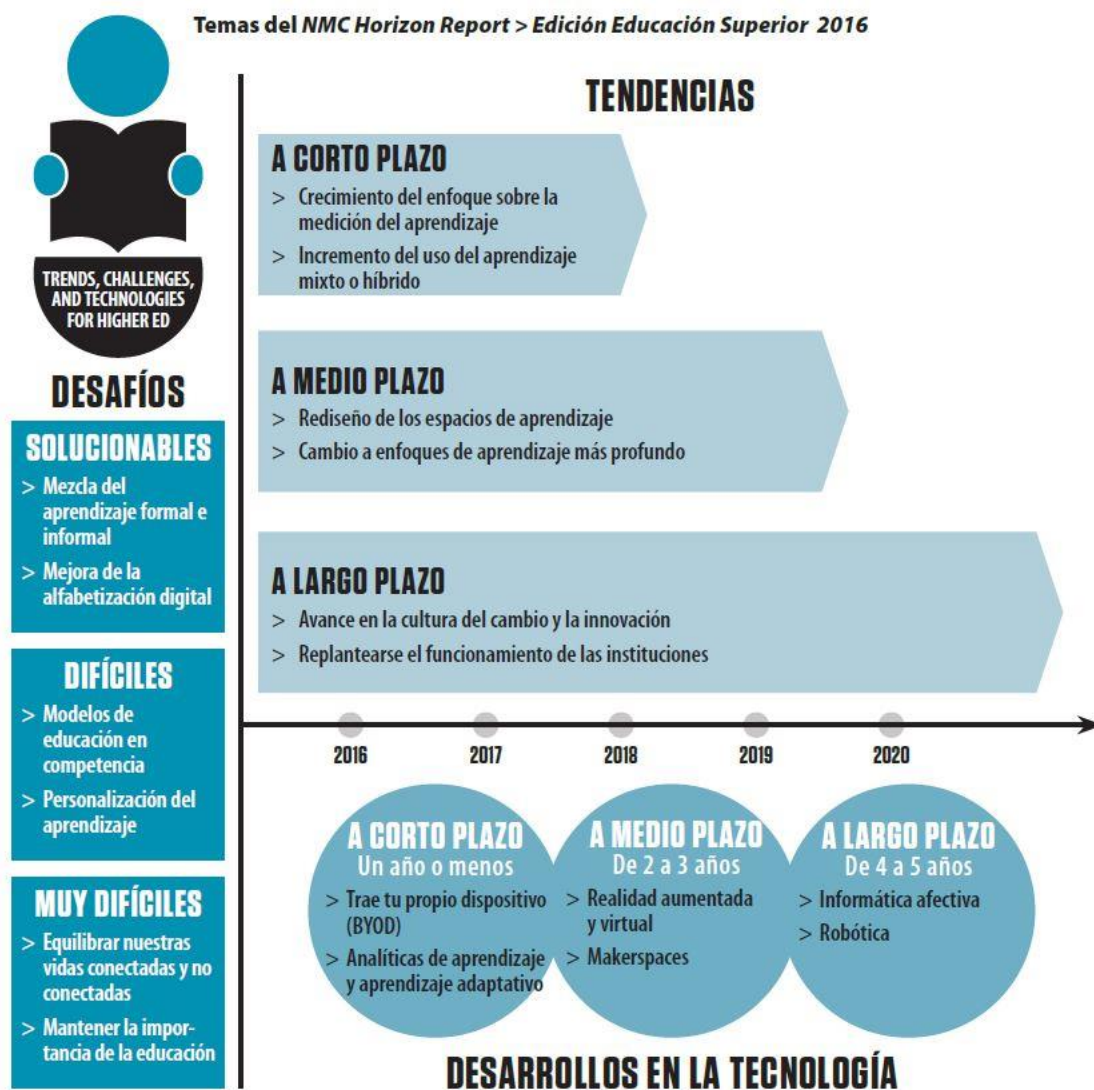


Figura 3.97. Desarrollo y generalización de las nuevas tecnologías según el informe Horizon (Adams *et al.*, 2016: 2).

Con la diligencia evolutiva de este tipo de tecnologías nada parece negar la consecución, más pronto que tarde, de dispositivos y metodologías que permitan rematerializar el

patrimonio digitalizado con naturaleza, y quizás también significación, completamente idénticas a la de sus originales.

De hecho, a día de hoy ya existen prototipos que trabajan con materiales muy diversos y que permiten desde la producción de medicamentos (Marson *et al.*, 2016: 2) o prótesis médicas (Rengier *et al.*, 2010: 336) a la construcción automatizada de edificios (Perrot *et al.*, 2016: 1217). No obstante, aunque su aplicación y posibilidades son enormes, este tipo de dispositivos resultan aún privativos y la democratización de su uso aún no ha sido posible.

3.4.9.1 *La rematerialización del contexto arqueológico digital*

“La mayor disponibilidad, menor coste y sencillez de uso han convertido la impresión 3D en la opción más empleada a la hora de generar una réplica física de un objeto virtual.”
(Esclapés *et al.* 2017: 162)

Relacionado con el patrimonio y desde hace algún tiempo, es cada vez más frecuente el uso de las denominadas como tecnologías de fabricación por adición, dentro las cuales se encuentra la impresión 3D. Las nuevas impresoras 3D permiten reintegrar la realidad digital en materiales muy diversos y de forma bastante asequible, en especial en el caso de los materiales plásticos. De esta forma, una réplica fotogramétrica puede ser devuelta a su formato tangible, con precisión submilimétrica, mediante impresoras estereolitográficas (SLA), de Sinterización Selectiva por Láser (SLS) o de Modelado por Deposición Fundida (FDM) a partir de materiales plásticos bastante económicos como el ácido poliláctico (PLA), el Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), Alcohol Polivinilo (PVA), Policarbonatos (PC), Polietileno de alta densidad (HDPE) o resinas de fotopolímero (LCD).

En efecto, aunque hoy es una realidad bastante clara, hasta hace prácticamente 8 años *“el modelado, escaneo y la impresión 3D eran tecnologías reservadas para expertos en la materia y requerían un largo y costoso aprendizaje, además se precisaba un equipo técnico avanzado y el precio era muy elevado”* (Saorín *et al.*, 2017: 34). Afortunadamente

hoy día existen impresoras 3D con precios bastante accesibles y cuyos costes de mantenimiento y producción son realmente bajos (fig. 3.98). Esta situación se debe en parte a la generalización de la filosofía del *open source* entre los *hardwares* y *softwares* ligados al mundo de la impresión 3D, hecho este que ha favorecido enormemente la expansión de este tipo de dispositivos en áreas y disciplinas ligadas a la gestión patrimonial (Zennaro, 2013: 62-63). De ahí se deriva que el empleo de impresoras 3D sea cada vez más corriente en proyectos, grupos de investigación y centros de enseñanza superior que son cada vez más conscientes de las extraordinarias posibilidades de estas nuevas herramientas.

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

Figura 3.98. Tabla donde se desglosan los tiempos y el precio que supone la impresión de réplicas en plástico de diversos modelos fotogramétricos.

El informe Horizon ya avanzaba esta realidad en 2016 (Adams *et al.*, 2016: 42) cuando estimaba en tres años el tiempo para una adopción generalizada de este tipo de tecnologías (fig. 3.97), pero ¿cuál es el fin último de reintegrar un objeto ya digitalizado de vuelta al medio físico?

Fuera del ámbito educativo, el cual se explorará más profundamente en el siguiente subapartado, la impresión 3D aporta los medios necesarios para llevar a cabo procesos

de consolidación y restauración tan precisos como rápidos e inocuos para el patrimonio (Díaz y Aura 2016: 330-332; Hernández-Muñoz *et al.*, 2019: 65-74).

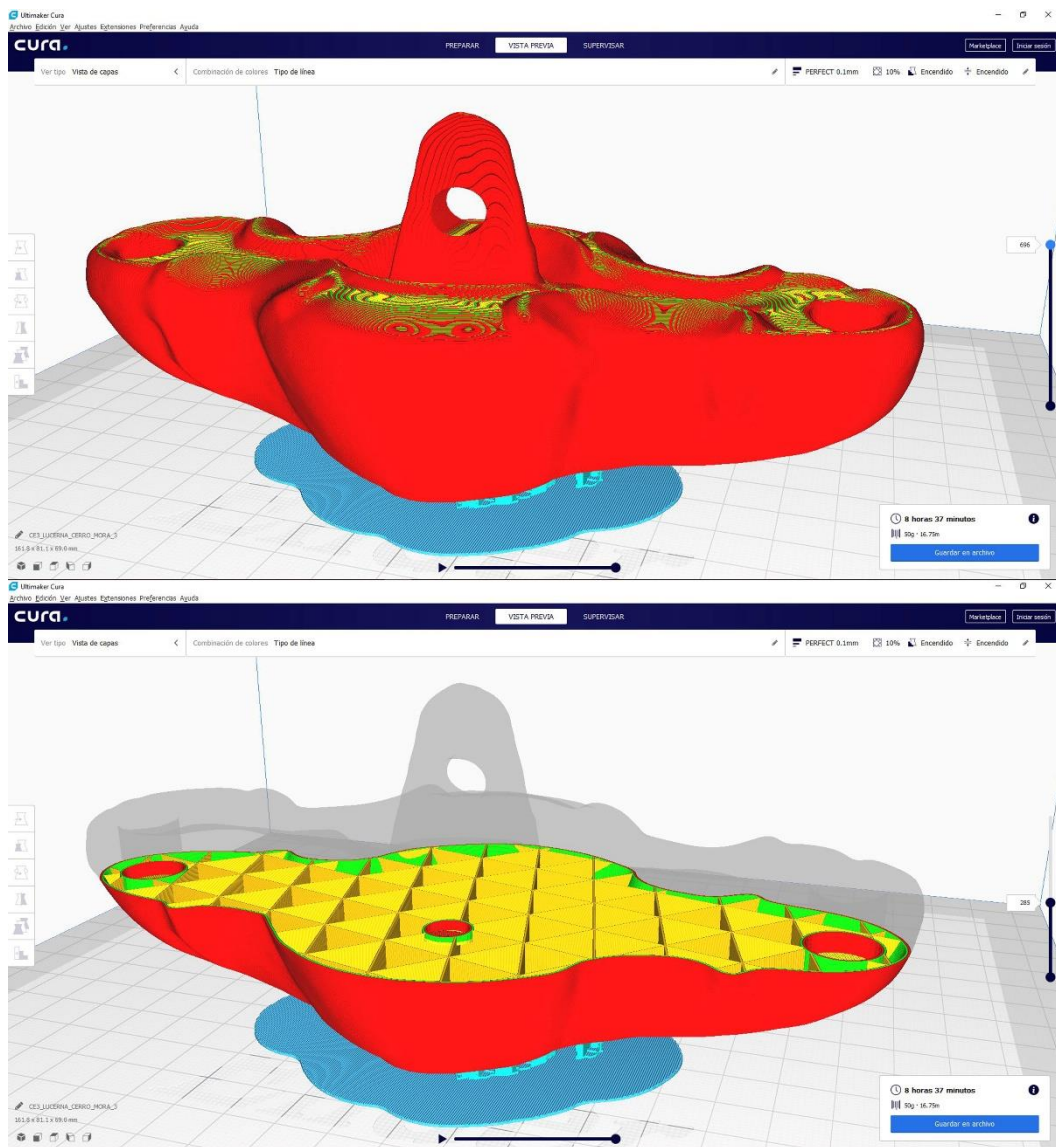


Figura 3.99. Laminado o *slicing* del modelo tridimensional ya reconstruido de la lucerna de doble pico procedente del Cerro de la Mora (Moraleta de Zafayona, Granada).

Por un lado, combinando las dinámicas de impresión 3D con programas fotogramétricos y de modelado digital es posible reconstruir aquellas partes faltantes de determinados objetos, imprimirlas y añadirlas al modelo original. Dichas dinámicas metodológicas resultan especialmente útiles en aquellos casos donde las partes reconstruidas e impresas no van a cumplir un papel clave para la integridad estructural del objeto. Es decir, no serán un elemento sustentante clave en la estructura del mismo. En estos

casos, la posibilidad de imprimir sobre materiales con cierta deformabilidad como los plásticos facilita ampliamente la colocación de los fragmentos impresos en la pieza original (Esclapés *et al.* 2017: 162). No obstante, y a pesar de que el material más habitual y accesible que emplean estos dispositivos es el plástico, un flujo de trabajo bien planteado permite abordar el uso de materiales más diversos y capaces de adaptarse mejor a determinados objetos y situaciones (yesos, arcillas, metal, etc.). Todo ello sin el coste excesivo que implicaría la adquisición de impresoras específicas para ello. Esto es posible gracias al empleo de moldes de silicona creados a partir de piezas previas impresas en plástico PLA o ABS.

Por otro lado, junto a la impresión por partes separadas está la opción de imprimir un objeto sólido y unitario, una copia formalmente idéntica a la original, pero que integre ya las reconstrucciones llevadas a cabo en plataformas de modelado digital. Algunos programas de diseño 3D como Blender dan la opción de exportar estos proyectos de restauración o reconstrucción virtual a formatos *Standard Triangle Language* (.stl). Esto resulta especialmente útil ya que este tipo de archivos son perfectamente compatibles con los programas de laminado o segmentación que preparan el modelo 3D para su posterior impresión (fig. 3.99). A este respecto, el laminado es un proceso clave a la hora de imprimir cualquier objeto de naturaleza digital, ya que permite transformar un formato como el *Standard Triangle Language* (.stl) en un archivo G-code (.gcode) específico para dispositivos de impresión. El fichero G-code se convierte así en una suerte de mapas de instrucciones que indica a las impresoras 3D la forma exacta en que han de moverse para construir correctamente el modelo impreso.

Como se indicó, actualmente existen programas gratuitos que permiten llevar a cabo este procedimiento. Para los ejemplos presentados en la presente tesis doctoral se empleó el *software* libre Ultimaker Cura® (Braam, 2017: en línea). Este, en consonancia con un dispositivo de impresión *Fused Deposition Modeling* (FDM) básico como es la Creality Ender 3 pro, hizo posible la elaboración de réplicas impresas de ácido poliláctico (PLA). Este tipo de termoplástico ecológico y reciclable resulta relativamente económico, fácil de imprimir y aporta resultados de gran calidad.

En términos generales, la creación de este tipo de piezas, reconstruidas o no, se convierte en una estrategia de difusión patrimonial realmente interesante. La confección de conjuntos de réplicas de diversas procedencias es, actualmente, una realidad plausible gracias precisamente al uso de impresoras como estas. Dinámicas de este tipo conllevan además el enriquecimiento de los fondos de distintas instituciones museísticas de una forma sencilla y económica. A ello se ha de sumar que estas réplicas, a diferencia de sus originales, permiten un grado de manipulación muy superior. Las colecciones de referencia, a las que se puede dar una apariencia más realista mediante moldes de silicona y pinturas acrílicas, pueden ser descargadas e impresas en casi cualquier centro del mundo que cuenten con una impresora 3D. Así, una persona a que viva en España podría disfrutar de una colección de figuritas cerámicas procedentes del Nevado de Toluca (México) sin que para ello tuviese que desplazarse a México (fig. 3.100).



Figura 3.100. Colección de figurillas cerámicas procedentes del Nevado de Toluca (Estado de México, México) y una bola sonajera cerámica del sitio arqueológico de la Media Luna (San Luis de Potosí, México). Colección digitalizada en la Subdirección de Arqueología Subacuática de Ciudad de México y posteriormente impresas en Granada.

En efecto, un facsímil impreso que presente un detalle y realismo suficiente se convierte en una interesante opción a la visita real. Una alternativa que trasciende fronteras

geográficas y se convierte en una herramienta excelente para combatir las tendencias turísticas masivas y destructivas (Bayod, 2017: 61). Una solución que favorece un tipo de turismo cultural *low cost*, participativo, sostenible y en el que el visitante no supone un problema para la conservación de los bienes patrimoniales.

3.4.9.2 Réplicas tiflotógicas

Relacionado estrechamente con esto último, surge la que quizá sea la aplicación patrimonial más útil de este tipo de tecnologías. En efecto, la impresión 3D permite crear conjuntos de piezas que no solo manipulables, sino adaptados a personas con discapacidad.

En efecto, en los últimos años, la adaptación y accesibilidad del conocimiento, en todos sus formatos, ha sido una realidad ampliamente legislada a nivel internacional, europeo, nacional, autonómico e institucional.

Un ejemplo de ellos es el artículo 2 de Real Decreto Legislativo 1/2013 del 29 de noviembre donde se define Inclusión Social como *“el principio en virtud del cual la sociedad promueve valores compartidos orientados al bien común y a la cohesión social, permitiendo que todas las personas con discapacidad tengan las oportunidades y recursos necesarios para participar plenamente en la vida política, económica, social, educativa, laboral y cultural, y para disfrutar de unas condiciones de vida en igualdad con los demás”* (AA.VV., 2013: 95639).

Por otro lado, en el artículo 23 de este mismo decreto se definen algunas de las condiciones básicas necesarias para la accesibilidad de este tipo de personas en cada ámbito o área, siendo obligatorios los siguientes aspectos:

a) Exigencias de accesibilidad de los edificios y entornos, de los instrumentos, equipos y tecnologías, y de los bienes y productos utilizados en el sector o área. En particular, la supresión de barreras a las instalaciones y la adaptación de equipos e instrumentos, así como la apropiada señalización en los mismos.

b) Condiciones más favorables en el acceso, participación y utilización de los recursos de cada ámbito o área y condiciones de no discriminación en normas, criterios y prácticas.” (AA.VV., 2013: 95648).

En el ámbito más concreto de la Universidad existe una legislación específica que obliga al cumplimiento de toda una serie de medidas de accesibilidad, entre las que se aborda la necesidad de que, no solo las infraestructuras, sino el conocimiento sea adaptado. Por ello, la Disposición Adicional Vigésimo Cuarta recogida en la Ley de Universidades 6/2001 del 21 de diciembre y redactada de conformidad con la Ley Orgánica 4/2007 del 12 de abril determina que:

“1. Las Universidades garantizarán la igualdad de oportunidades de los estudiantes y demás miembros de la comunidad universitaria con discapacidad, proscribiendo cualquier forma de discriminación y estableciendo medidas de acción positiva tendentes a asegurar su participación plena y efectiva en el ámbito universitario.

3. Las universidades promoverán acciones para favorecer que todos los miembros de la comunidad universitaria que presenten necesidades especiales o particulares asociadas a la discapacidad dispongan de los medios, apoyos y recursos que aseguren la igualdad real y efectiva de oportunidades en relación con los demás componentes de la comunidad universitaria.

4. Los edificios, instalaciones y dependencias de las universidades, incluidos también los espacios virtuales, así como los servicios, procedimientos y el suministro de información, deberán ser accesibles para todas las personas, de forma que no se impida a ningún miembro de la comunidad universitaria, por razón de discapacidad, el ejercicio de su derecho a ingresar, desplazarse, permanecer, comunicarse, obtener información u otros de análoga significación en condiciones reales y efectivas de igualdad. Los entornos universitarios deberán ser accesibles”(AA.VV., 2007: 16255).

Todo ello no genera una simple necesidad, sino una obligatoriedad apremiante de acercar el patrimonio arqueológico a sectores de la población que no puede disfrutar de él en su naturaleza original.

Como comentábamos es posible restaurar partes faltantes de una copia fotogramétrica, imprimirla y adaptarlas a la pieza original. Del mismo modo, también es posible imprimir modelos completos donde ya estén integradas dichas reconstrucciones. Mediante las herramientas de digitalización y reconstrucción es posible además no solo reconstruir, sino potenciar determinados rasgos de una pieza para que su percepción resulte más sencilla. Ya lo vimos en el caso de la *Reflectance Transformation Imaging* de tipo virtual. Sin embargo, también es posible enfocar este tipo de procesos a la producción de piezas físicas con características o rasgos potenciados (fig. 3.101).

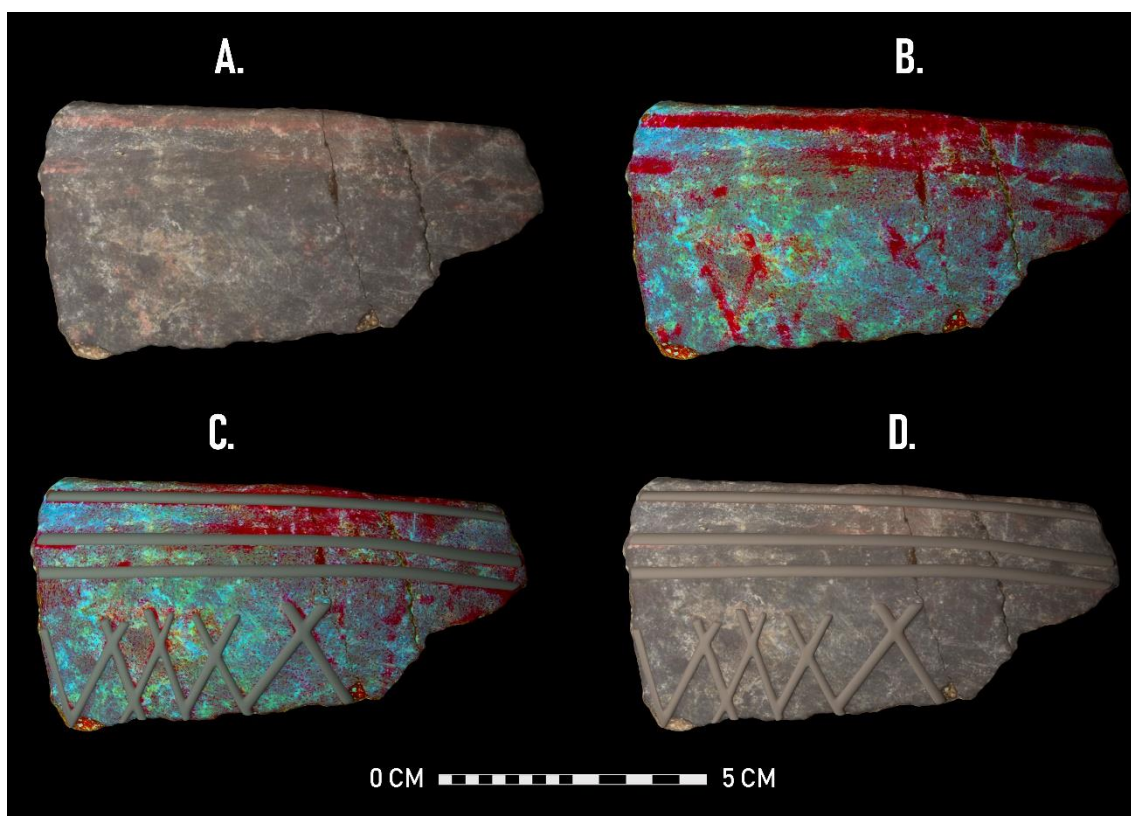


Figura 3.101. Montaje donde se describen los pasos seguidos para obtener la réplica tiflológica. Renderizado normal de la pieza elegida obtenido mediante Blender y con una proyección ortográfica (A.). Renderizado del modelo con el mapa de texturas analizado mediante Dstretch (B.), con lo que se resaltan mejor las pigmentaciones. Sendos renderizados con los apliques tiflológicos sobre textura normal (D.) y textura manipulada por Dstretch (C.).

La Tiflogía ha sido tradicionalmente la ciencia encargada de estudiar las problemáticas que rodean a las personas con discapacidad visual (invidentes e hipovidentes), con el fin de desarrollar soluciones para conseguir su plena integración laboral, social y cultural.

La fotogrametría, los programas de postprocesado y la impresión 3D se convierten aquí en unos aliados inestimables.

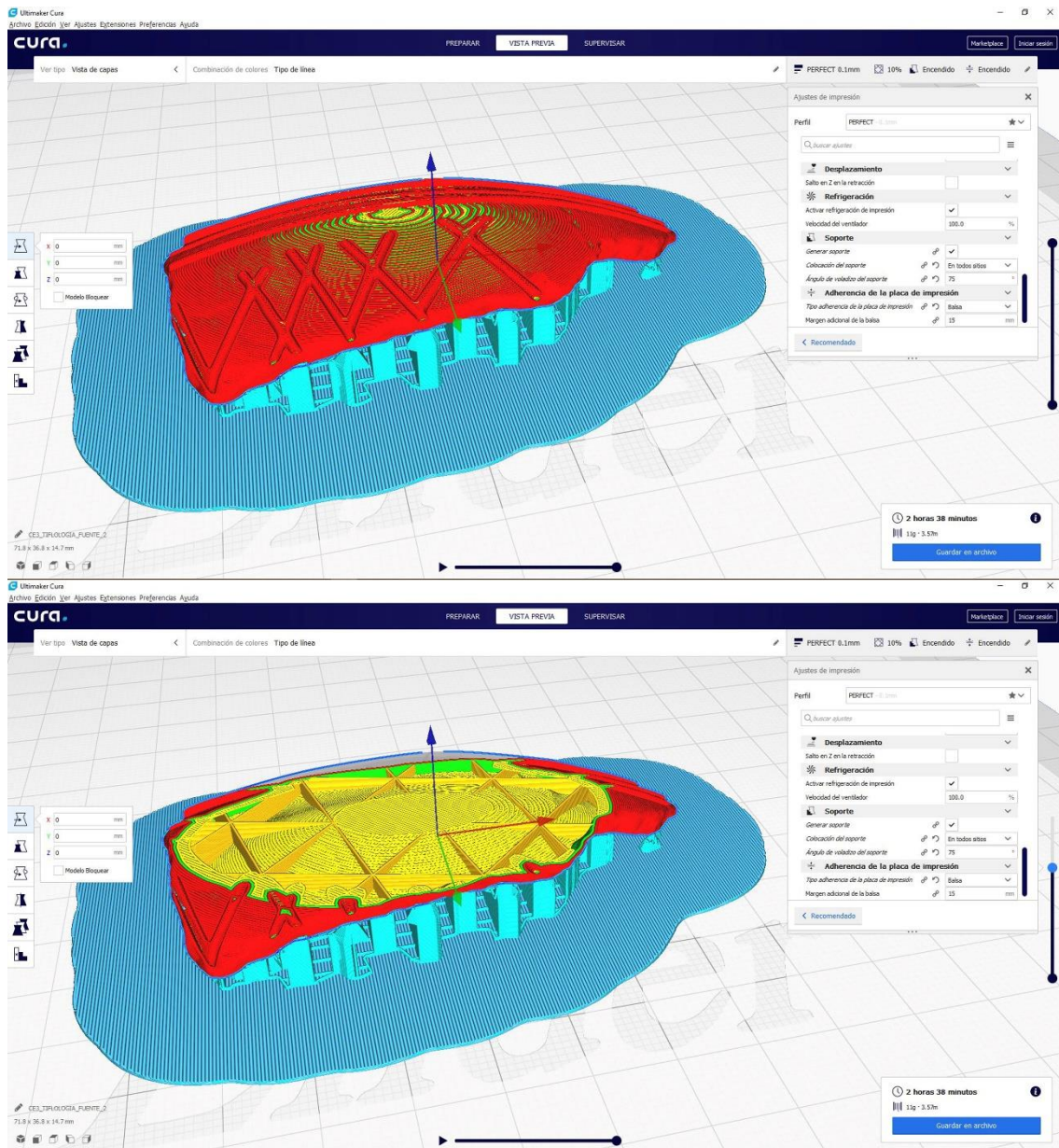


Figura 3.102. Proceso de laminado en Ultimaker Cura de la réplica tifológica del fragmento de la fuente cerámica del Bronce.

Pongamos por caso aquellos elementos patrimoniales con decoraciones pictóricas que, en su forma original, no pueden ser disfrutados por personas invidentes. Este tipo de motivos carecen de relieve o presentan uno tan sutil que su percepción táctil resulta imposible. Así, gracias a un proceso metodológico que combine varias herramientas y

programas informáticos es posible resaltarlas e imprimir réplicas tiflológicas perfectamente adaptadas y manipulables por personas con este tipo de minusvalía.



Figura 3.103. Modelo impreso de la fuente cerámica del Bronce con los motivos decorativos resaltados.

El flujo metodológico en cuestión enlaza aquí con algunos procedimientos ya desglosados anteriormente. En primer lugar, el empleo de herramientas de modelado digital como Blender (Roosendaal, 1998) permite resaltar mediante un relieve artificial la disposición de determinados motivos pictóricos (figs. 3.85 y 3.101), añadirlos al modelo fotogramétrico original, exportarlo a un formato Standard Triangle Language (.stl) y prepararlo todo para su impresión en Ultimaker Cura (Braam, 2017: en línea) (fig. 3.102). Junto a ello, aplicar herramientas de tratamiento de imagen como Dstretch (Harman, 2005b: en línea, 2005^a: en línea; ImageJ, 1997: en línea) directamente sobre el mapa de textura de los modelos tridimensionales obtenidos mediante fotogrametría, abre un nuevo abanico de posibilidades. Un flujo combinado de fotogrametría, análisis de imagen en Dstretch, modelado 3D en Blender e Impresión 3D, permite crear réplicas tiflológicas de objetos reales donde las decoraciones pictóricas presentan un alto grado de desgaste (figs. 3.101, 3.102 y 3.103). Motivos decorativos que no solo pasarían desapercibidos para personas invidentes o hipovidentes, sino para un grueso

poblacional mucho más amplio. Una pieza con un alto valor divulgativo, tifológico y, en definitiva, social (fig. 3.103).

3.4.10 La Fotogrametría como herramienta para la docencia

“No podemos concebir un docente de nuestro siglo que no considere el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) o que, en su aplicación, no exhiba criterios de excelencia; como tampoco podemos concebir un docente incapaz de mantener sus conocimientos actualizados, no solo en relación con su ámbito disciplinar, sino con el uso de cualesquiera tecnologías el futuro nos depara” (Gisbert *et al.*, 2016: 78).

La educación, la piedra angular del cualquier desarrollo social sostenible, se convierte en una herramienta esencial para la conservación patrimonial a largo plazo. Menos visibilizada de lo que resultaría idóneo, la enseñanza es una habilidad cognitiva de gran complejidad que tiene lugar en un marco mal estructurado, pero que, aun así, se ve inmersa en dinámicas evolutivas continuas (Mishra y Koehler, 2006: 1020). En efecto, en los últimos años la introducción de las nuevas tecnologías informáticas en las aulas, tanto físicas como virtuales, se ha convertido en un hecho más que evidente en todos los niveles educativos (Adams *et al.*, 2016: 15-50).

Los nativos digitales, personas que nacen en un tiempo donde el uso de los recursos digitales está perfectamente generalizado (Gisbert *et al.*, 2016: 75), componen ahora el núcleo más importante del alumnado mundial. Obviamente, estos nuevos estudiantes requieren de un formato educativo diferente al de una persona que emigra de una realidad originalmente analógica y que ha tenido que adaptarse, de forma posterior, a las herramientas informáticas.

Actualmente, un amplio porcentaje del público que reciben instituciones de enseñanza superior como la Universidad de Granada procede, precisamente, de este nuevo contexto cultural. Una realidad aún más acuciante en los niveles educativos primarios y secundarios. Los smartphones, las tabletas digitales y los ordenadores portátiles han sustituido al bolígrafo y al papel en las aulas donde, la única necesidad real, es proveerse

de una fuente de energía. Hoy, es prácticamente impensable realizar la exposición de un trabajo sin programas informáticos de presentación como PowerPoint, o sin apoyo del material audiovisual disponible en internet. Y es por ello que el nuevo alumnado necesita de nuevas formas de aprendizaje híbridas que integren espacios físicos con virtuales y herramientas digitales con analógicas.

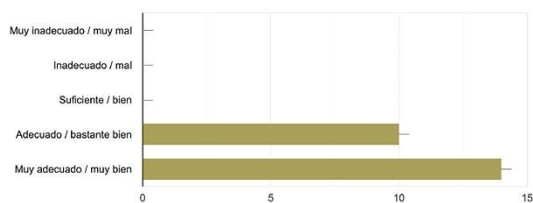
Por otro lado, la conservación efectiva del patrimonio implica la necesidad de valorar el pasado y, por ende, de una docencia específica y de calidad. Una educación que se ha de trasladar a todos los niveles de la enseñanza y no solo al ámbito universitario. El ya mencionado informe *Horizon* de 2016 (Adams *et al.*, 2016: 34-35) avanzaba la relevancia que las nuevas tecnologías informáticas están adquiriendo en el entorno educativo. Las Humanidades Digitales, la Arqueología y la difusión del patrimonio son, sin duda, algunas de las mayores beneficiarias de estas nuevas dinámicas.



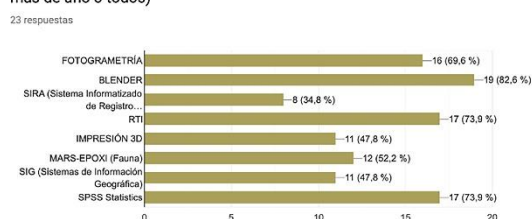
Figura 3.104. Participantes durante una de las sesiones del I Curso de Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Digitalización, Estudio y Análisis Espacial del Registro Arqueológico (Abelleira, Maldonado y Martín, 2018).

A lo largo de esta tesis, los apartados y subapartados que se han ido viendo ratifican precisamente esto. Al ensalzar el enorme potencial de las nuevas tecnologías, confluyen en una idea común, la percepción de la fotogrametría como herramienta docente de extraordinario valor. Tanto su metodología como los resultados obtenidos mediante ella se convierten en una vía sugerente para inculcar el respeto hacia el pasado en un mundo profundamente sumido en el futuro. Una sociedad donde la tecnología, y las competencias digitales que de ella derivan, adquieren un papel protagonista (Selwyn, 2013: 15-150). La extraordinaria acogida tanto del *I Curso de Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Digitalización, Estudio y Análisis Espacial del Registro Arqueológico* (Abelleira, Maldonado y Martín, 2018) como de su segunda edición celebrada en noviembre de 2019 (Adroher *et al.*, 2019) pone de manifiesto precisamente esto. El especial y creciente interés que suscitan temáticas de este tipo entre las futuras generaciones de profesionales del patrimonio (fig. 3.105).

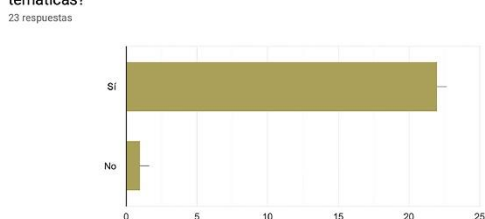
3. Interés de los temas tratados
23 respuestas



10. ¿Qué módulo/s te han parecido más útiles? (es posible seleccionar más de uno o todos)



11. ¿Te interesaría participar en un curso avanzado sobre las mismas temáticas?



12. ¿Aplicarás los conocimientos del curso en tus futuras investigaciones?

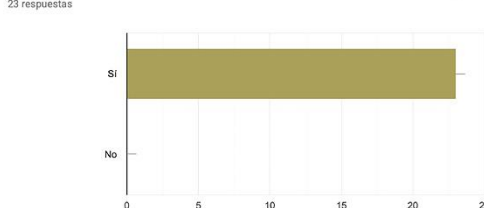


Figura 3.105. Estadísticas obtenidas en el II Curso Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Digitalización, Estudio y Análisis Espacial del Registro Arqueológico celebrado en la Universidad de Valladolid del 11 al 15 de noviembre de 2019, tras la realización de un cuestionario final entre los alumnos asistentes.

Una dinámica que se repite si se analiza también el cada vez mayor número de alumnos que matriculados cada año asignaturas del grado de Arqueología como es *Nuevas Tecnologías para la Difusión y Puesta en Valor del Patrimonio Arqueológico*.

Contradictoriamente, el desconocimiento de algunos recursos y términos básicos relacionados con el mundo de las nuevas tecnologías es una realidad aún presente en gran parte de los estudiantes de las carreras humanísticas (fig. 3.106). Este hecho solo reafirma la necesidad de continuar potenciando este tipo de estrategias educativas.

Ante esta situación, el docente, a veces también investigador, no debe transgredir sino adaptarse y adoptar, en la medida de lo posible, mecanismos que garanticen su confluencia con sinergias cada vez más evidentes. Debe, por tanto, adquirir conocimientos tanto disciplinares, como pedagógicos o tecnológicos (Gisbert *et al.*, 2016: 78). Como afirmaba Shulman (1987: 14) “*to teach is first to understand*”, hay que comprender para poder enseñar. Entender no solo la materia de la que hablamos, sino al público objetivo al que nos dirigimos.

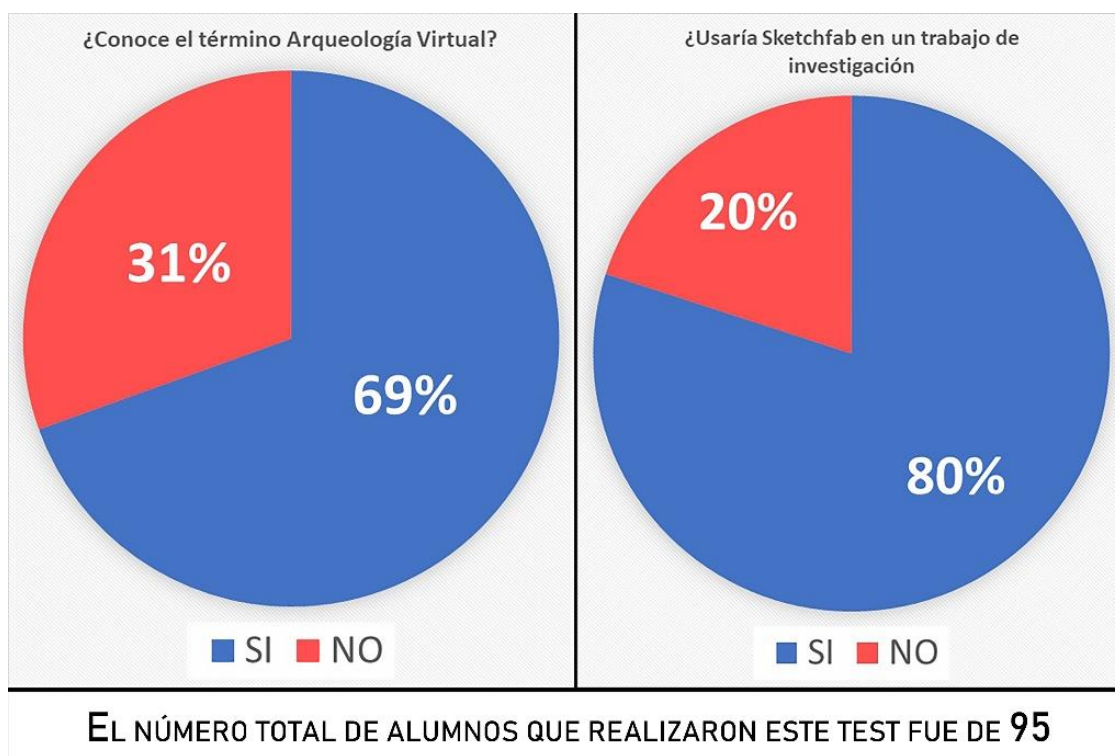


Figura 3.106. Gráficos donde se muestran algunos de los resultados obtenidos al realizar un test de conocimientos iniciales durante el transcurso del curso 2018-2019 en las asignaturas de Arqueología de Grecia y Roma y Arqueología del Mundo Clásico. Ambas en los grados de Arqueología y de Historia de la Universidad de Granada. El número total de alumnos que realizaron este test, y a través del cual se han trazado los porcentajes, fue de 95 entre ambos cursos.

3.4.10.1 *Sketchfab y la visualización online*

Una parte importante del flujo fotogramétrico es pensar la forma en que este tipo de recursos digitales van a ser difundidos. Aunque ya se ha mencionado varias veces, parte del enorme potencial de herramientas de digitalización como la fotogrametría deriva, precisamente, de su capacidad de difusión. Sin embargo, no todo el mundo cuenta con los *softwares* o los equipos necesarios para visualizar un modelo fotogramétrico en sus formatos de origen. Los materiales escaneados pueden ser entonces compartidos a través de infografías o videos. Junto a ello, existe otra interesante opción, el empleo de repositorios online gratuitos.

Aunque existen varias webs destinadas a este propósito (Blendswap, Thingiverser, Warehouse, por mencionar solo algunas de las más importantes), en el ámbito del patrimonio Sketchfab ocupa, sin duda, el primer puesto. Este sitio web proporciona un sistema de visualización basado en la tecnología WebGL, la cual permite interactuar con modelos 3D a través de dispositivos móviles inteligentes, tabletas u ordenadores. En este repositorio online es posible alojar modelos fotogramétricos en formatos digitales como *wavefront* (.obj). Al ser un dominio de acceso gratuito, el material subido puede compartirse a través de códigos *embed* o *links* sencillos, con la única condición de que exista una conexión estable a internet. Igualmente, gran parte del material almacenado en estos servidores se encuentra disponible para su descarga de forma también gratuita.

Los repositorios online como Sketchfab aportan además un material muy completo que trasciende los límites bidimensionales de las fotografías tradicionales. Un tipo de recursos digitales, de gran valor educativo, que convierte el uso de este tipo de plataformas en algo doblemente beneficioso.

En conjunto con el fenómeno BYOD (*Bring Your Own Device*), estas plataformas de visualización permiten a los estudiantes complementar el material de la exposición llevada a cabo por el profesor o por ellos mismos. A través de sus propios dispositivos los alumnos pueden acceder a modelos tridimensionales con solo escanear un código

QR enlazado y colocado en una diapositiva. Esta forma de visualización simultánea se convierte en una interesante alternativa a la docencia tradicional en el aula.

Pero, más allá de ello, incluir este tipo de recursos en asignaturas humanísticas ligadas al ámbito del patrimonio, no solo se convierte en una forma dinámica de docencia y aprendizaje. A la vez que proporciona al profesor estrategias para llevar a cabo una docencia de mayor calidad, proporciona al alumnado nuevas y atractivas herramientas con las que desarrollar sus propias investigaciones, trabajos y exposiciones. La utilidad práctica, la inmediatez o la comodidad que supone emplear marcos de ocio habituales como son las redes sociales a modo de instrumentos de aprendizaje, generan en el alumnado la deseada sensación de *engagement* o compromiso con la asignatura que está cursando.

3.4.10.2 *Laboratorios de medios y makerspaces: lugares de aprendizaje y creación*

En 1896 John Dewey fundaba en la Universidad de Chicago el *laboratory school* iniciando así una dinámica educativa basada en un enfoque mucho más experimental. A pesar de sus muchos detractores, su nueva forma de enseñar, basada en la idea de “aprender haciendo”, ha demostrado y demuestra aún hoy una gran efectividad (Hook, 1971: 23). Su hija Jane Mary Dewey explicaría perfectamente este concepto en la biografía que escribió, en 1939 y con la ayuda de su hermana Evelyn, sobre su padre: “*The very possibility of students’ doing anything new, anything original, was a novel and exciting idea to most of these young men. They must have been aware that there were people in the world doing intellectual things which had never been done before, but their previous education had never suggested to them that they might be of this happy band*” (Dewey, 1939: 15).



Figura 3.107. Niños corriendo frente al *laboratory school* fundado por John Dewey hacia el año 1900. Cortesía de las Colecciones Especiales. Centro de Investigación, Biblioteca de la Universidad de Chicago (Durst, 2010: 1).

Sin duda, este organismo educativo promovido por John Dewey se convirtió en el germen a partir del cual, años más tarde, surgirán los denominados como “laboratorios sociales”. Estas plataformas ideadas para abordar retos de carácter social, pronto se verán profundamente influidas por la diligente expansión de la era digital y las nuevas tecnologías informáticas. Consecuencia de ello es, por ejemplo, la aparición de los “laboratorios de medios” o “medialabs”, un tipo de laboratorio social íntimamente ligados a la innovación tecnológica. Desde la fundación del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) en 1985, la expansión de instituciones de estas características ha sido una realidad innegable en el marco de las Humanidades y de las Ciencias Sociales.

Aunque como indican Romero y Robinson (2017: 31), en los últimos años la rápida democratización de la tecnología ha hecho que estos *medialabs* adquieran una perspectiva cada vez más social y menos técnica, a nuestro parecer el componente tecnológico sigue siendo uno de sus principales atractivos de estos espacios. Un hecho más que evidente en el ámbito universitario.

En este contexto se ha de mencionar también el término “*makerspaces*”. Este concepto, muy similar al de *medialab* y que englobaría a estos últimos, hace referencia a espacios que se encuentran igualmente ubicados en instalaciones comunitarias o instituciones de carácter educativo. En otras palabras, es posible afirmar que los *medialabs* o laboratorios de medios se convierte en una más de las manifestaciones de los *makerspaces*. Al igual que ocurría con los *medialabs*, los *makerspaces* están dotados de equipos informáticos para que los estudiantes puedan digitalizar, modelar y crear sus propios objetos de forma colaborativa. El desarrollo de este tipo de instalaciones es una respuesta a la necesidad de crear un marco de aprendizaje diferente. Una forma de renovar o cambiar la finalidad de las aulas y laboratorios para hacer frente a las necesidades educativas actuales.

En el ámbito de la gestión del patrimonio, y más concretamente de la Arqueología, la creación de un *makerspace* supone un revulsivo práctico a la densa teoría que generalmente se imparte en la mayoría de las asignaturas. El uso actual de estos espacios atiende a la necesidad de una formación complementaria extraacadémica, donde profesores y alumnos trabajen en un ambiente distendido y eminentemente práctico. No hay una solución unilateral ni definitiva al problema de la integración tecnológica en las aulas, por lo que cada institución debe adaptar los mecanismos que le resulten más efectivos.

En el caso concreto de la Universidad de Granada, el interés de varios alumnos procedentes del grado de Arqueología motivó la creación de un espacio destinado al aprendizaje y producción de modelos fotogramétricos (fig. 3.108). La formación específica del alumnado en herramientas como la fotogrametría *Structure from Motion*, mediante estas prácticas cooperativas y supervisadas, ha dado como resultado la digitalización de piezas arqueológicas únicas que servirán, a su vez, como material docente a posteriores generaciones. Los modelos, ya revisados, pasaron a integrarse como parte del proyecto *medialab Virtual 3D UGR* y pueden consultarse hoy en la página web *Virtual 3D UGR. Arqueología en Red* creada como parte del proyecto (Adroher *et al.*, 2019: en línea).



Figura 3.108. Grupo de alumnas y alumnos grado de Arqueología de la Universidad de Granada realizando prácticas de fotogrametría integradas dentro del proyecto medialab UGR “*Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)*”.

Cuando aprende fotogrametría *Structure from Motion*, el humanista digital no solo adquiere una técnica específica. Junto a ella, obtiene además una gran capacidad de gestión de los archivos digitales, nuevos recursos para desarrollarse como investigador y herramientas adicionales para conservar y entender un patrimonio de naturaleza tan diversa como frágil.

4 CAPÍTULO IV: CASOS DE ESTUDIO

4.1 Presentación del apartado

Con objeto de demostrar las amplias posibilidades que supone trabajar con modelos fotogramétricos, se decidió emplear, en primer lugar, un marco de estudio que ayudase a dar homogeneidad a la aplicación de los diversos flujos de trabajo desglosado en el anterior capítulo. Para ello, se eligió un contexto cerámico tan complejo como el del barrio alfarero de época romana de los Villares de Andújar (Jaén, España). En efecto, *Isturgi* y su barrio artesanal cuentan con un rico acervo patrimonial, capaz de aportar cierta uniformidad al discurso de la presente tesis.

De forma conjunta, en subapartados siguientes se presentan algunos trabajos realizados sobre materiales mucho más diversos. Con ello, se pretendía abordar la compatibilidad de una técnica como la fotogramétrica *SfM*, así como de sus posibles postprocesos, independientemente de la naturaleza, cronología y ubicación del material analizado.

El objetivo es, por tanto, demostrar como lo que *a priori* parece ser una miscelánea errática de procesos metodológicos, descritos pertinentemente en el capítulo anterior, se convierten en un flujo de trabajo sólido y perfectamente aplicable sobre conjuntos de piezas de mediano y pequeño tamaño.

4.2 Los Villares de Andújar.

4.2.1 Contexto histórico-arqueológico

A lo largo del extenso trabajo de investigación y estudio del yacimiento de los Villares de Andújar ha quedado patente que este se configura como una importante zona productiva en la que se compatibilizaba la elaboración de diversos tipos de cerámica. Este complejo alfarero estaba estrechamente relacionado con la antigua ciudad de *Isturgi* (Fernández *et al.*, 2008: 174), un núcleo urbano, probablemente *Municipium*

durante el período romano, que ha sido mencionado en fuentes clásicas como *Naturalis Historia* de Plinio el Viejo (nat. 3, 3, 10) o en una de las leyes del rey visigodo Sisebuto (*Lex Visigoth.* XII, 2, 13).

Desde que Manuel Sotomayor Muro diese a conocer, en el XII Congreso Nacional de Arqueología (Sotomayor, 1973: 690-696), la existencia de un alfar productor de *terra sigillata* hispánica cerca del municipio jienense de Andújar, han sido tres los proyectos de investigación sistemática llevados a cabo en la zona. El primero de estos proyectos, denominado "Romanización del Alto Guadalquivir", fue dirigido inicialmente por Manuel Sotomayor Muro (1972-1981). A partir de 1981, y hasta 1989, Mercedes Roca Roumens se haría cargo de su dirección. A estas primeras intervenciones, le siguieron los proyectos "*Isturgi* romana y su territorio: la producción de *terra sigillata* y su difusión" (1995-2011) y "Proyecto *Isturgi*". Otro indigenismo y otra romanización: la configuración del artesanado romano y de los fenómenos productivos en las áreas periféricas del Alto Guadalquivir" (2012-vigente), ambos dirigidos María Isabel Fernández García.

Por tanto, las investigaciones efectuadas en el barrio artesanal del antiguo *Municipium Isturgi Triumphale* (Jiménez de Cisneros, 2007: 90-97), y llevadas a cabo por ya cuatro generaciones de investigadores, han puesto en evidencia las dimensiones y el potencial del enorme complejo alfarero de este núcleo urbano de época romana. En este sentido, la cercanía de canteras de arcilla, de cursos de agua naturales y de bosques capaces de alimentar los hornos de cocción de esta zona productiva, propiciaron el establecimiento de una cadena de producción alfarera de gran solidez (Fernández-García, 2015: 58). A ello se han de sumar otros factores fundamentales para comprender la importancia *Isturgi* como productor de cerámica en general, y de la *terra sigillata* hispánica en particular. Por un lado, el paso de un ramal secundario de la vía *augustea* benefició ampliamente el desarrollo tanto económico como social de la zona, así como su propia proyección fuera de un ámbito meramente regional. A ello se añade el río *Baetis*, que transcurre prácticamente a los pies del barrio artesanal. Ambas vías no solo sirvieron para dar salida a los productos cerámicos de *Isturgi*, sino que funcionaron además como

catalizadores de doble efecto. A la par que servían para atraer nuevas influencias exógenas, de todo tipo, fomentaron el desarrollo y la canalización de ideas propias. En conjunto, estos influjos vernáculos y foráneos, “ algo más que meras pervivencias de lo indígena [..]”, pero que “no terminan de ajustarse al modelo tradicionalmente aceptado, unidireccional y de aculturación” (Fernández-García *et al.*, 2009: 176), quedaron materializados gracias a la presencia de un artesanado indígena capaz de elaborar, entre otros muchos artículos, cerámicas de muy diverso tipo (Fernández-García, 2015: 58).

Los materiales recuperados en los Villares de Andújar hablan, en efecto, de una vasta diversidad productiva concentrada, sobre todo, en torno a los siglos I y II d.C. (Fernández-García, 2015: 58). Una heterogeneidad tipológica que incluía cerámicas de paredes finas (Ruiz y Moreno, 2013: 174-179), cerámicas pintada de tradición ibérica (Ruiz y Peinado, 2013: 164-171), cerámicas tipo Peñaflor (Ruiz, 2013a: 156-161), cerámicas de barniz interno rojo pompeyano, lucernas (Ruiz, 2013c: 294-299) o cerámica común romana (Peinado, 2013: 248-269). Esta pluralidad inicial quedará, no obstante, limitada hasta cierto punto por la irrupción de la *terra sigillata* en el ciclo productivo de *Isturgi*. Este nuevo tipo cerámico supone un auténtico punto y aparte en la industria alfarera de un municipio donde la *terra sigillata* hispánica terminará copando la producción.

A consecuencia de ello, no se inicia tanto una readaptación técnica de las infraestructuras del complejo (Ruiz, 2013: 79), hornos en este caso, sino que más bien se atiende a una capacitación metodológica de un artesanado y personal que, solo de esta forma, fue capaz de afrontar la producción creciente de esta novedosa clase de cerámica (Fernández-García, 2015: 58). El resto de manufacturas, aunque no parecen desaparecer completamente, pasan ahora a elaborarse en mucha menor medida (Fernández-García, 2013a: 155-312).

Consecuentemente, y como no podría ser de otro modo, la presencia predominante de la *terra sigillata* en el alfar isturgitano, ha terminado estimulando la elaboración de abundantes estudios y trabajos al respecto. Es precisamente gracias a ellos que se ha ido perfilando, poco a poco, una secuencia cronotipológica bastante precisa de las

producciones de *terra sigillata* confeccionadas en *Isturgi*. Como resultado, el amplio repertorio tipológico de más de cuarenta y dos formas lisas y ocho decoradas, quedan distribuidas dentro de tres grandes generaciones de alfareros. Estas producciones abarcarían desde la época Julio Claudia a finales del siglo I/siglo II d.C. y debido a sus peculiaridades formales y ornamentales son fácilmente identificables (Roca-Roumens, 1976; Fernández-García, 1988: 15-900; Fernández-García, 1998: 49-100; Fernández-García y Serrano, 2013: 92-196).



Figura 4.1. Principales complejos alfareros productores de *terra sigillata* que han sido identificados en el territorio que ocupaba la antigua provincia romana de la *Baetica* (Elaboración propia a partir de Fernández-García, 2012: 381).

En cuanto a las estructuras de producción y comercialización, al menos en el ámbito peninsular, el conocimiento es algo más limitado. A día de hoy son siete los complejos alfareros identificados en el antiguo territorio de la *Baetica* (fig. 4.1):

- Los Villares de Andújar (Jaén)
- Cartuja (Granada)

- El Carmen de la Muralla (Granada)
- *Singilia Barba* (Antequera, Málaga)
- *Antikaria* (Antequera, Málaga)
- Alameda (Málaga)
- Teba (Málaga)

En el caso de Los Villares de Andújar, y a falta de intervenciones más exhaustivas, se conocen solo algunos de los espacios que conformaron estos alfares (Fernández-García, 2012: 379-389; Fernández-García y Serrano, 2013: 92-106; Ruiz, 2014: 15-100), posibles zonas de captación de la arcilla (Ruiz, 2011:64-68 y 254-258) y al menos seis hornos de los que se tiene constancia (Fernández-García, 2004: 245-248; Ruiz, 2013: 75). En cuanto a las estructuras humanas de producción, comprendidas estas como todo el componente humano que hizo posible el desarrollo productivo del alfar isturgitano, se han recuperado una serie de moldes, instrumentos imprescindibles, para la elaboración de los ejemplares decorados de *terra sigillata* de Los Villares de Andújar (Fernández-García y Serrano, 2013: 92-106; Serrano, 2016: 15-600). El análisis de las estructuras humanas de producción ha constituido, de hecho, uno de los principales objetivos de los últimos proyectos de investigación llevados a cabo en el yacimiento de Los Villares de Andújar. En efecto, profundizar en el estudio del contingente humano que produjo las manufacturas de *terra sigillata*, ha permitido obtener información valiosísima sobre la situación socio-económica y jurídica de un artesanado dividido en varias categorías, según su grado de especialización (Actualizadas en Fernández-García y Fernández-Baquero, 2019: 63-81; Fernández-García y Fernández-Baquero, en prensa). Una primera categoría donde se ubicaría a todas aquellas personas que efectuaban operaciones para las que no era necesaria capacitación alguna y otra superior, que englobaría a los maestros horneros, a los fabricantes moldes y a los propios productores de vasos. Estos *artifices* eran los responsables, en mayor o menor medida, de todo el proceso productivo.

Dada la importancia de este tipo de cerámica, conviene ahondar también en sus principales características técnicas, cronológicas y, sobre todo, en los procesos y los

materiales necesarios para su producción. La dificultad técnica que requería elaborar la *terra sigillata* es un hecho innegable que queda patente, entre otras cosas, en la incapacidad actual de imitar este tipo de producciones. Las *sigillatae* elaboradas en las *officinae* isturgitanas debieron cocerse mediante un proceso de cochura muy específico, capaz de garantizar un flujo de aire homogéneo dentro de la cámara de cocción o laboratorio. Dado que la introducción de *terra sigillata* en el barrio suburbano del antiguo *Municipium Isturgi Triumphale* parece no haber supuesto un cambio notable en la infraestructura de horneado del complejo alfarero, parece que prevalece una cocción de tipo semioxidante donde el control del aire y la temperatura debían de ser extraordinariamente precisas (Montagu, 1989: 15-80; Ruiz, 2013: 79). Un caso anómalo donde parece constatarse la prevalencia del horno prerromano tradicional, salvo por ligeras modificaciones estructurales, y que implicó una importante especialización y adecuación de la metodología para poder obtener piezas de una calidad similar (Ruiz, 2013: 79).

Siguiendo una dinámica básica de la historia productiva, el artesano de esta época trata de reflejar en sus manufacturas las prioridades de un mercado que trasciende a corta, media y larga distancia. En este sentido y adaptando el *corpus* decorativo de sus producciones a los gustos de sus potenciales consumidores, la primera generación de alfareros productores de *terra sigillata* isturgitana (época Julio-Claudia) plasma un auténtico cosmos de figuras humanas, deidades y héroes. Formando parte de unidades mínimas decorativas, o bien insertándose en unidades máximas (Fernández-García 2011; 2015: 58-59; y en prensa), estos personajes conviven con recursos decorativos de carácter fitomorfo, zoomorfo, circular y/o vertical.

La irrupción de la segunda generación de alfareros, ya en época Flavia, supone un importante decaimiento en cuanto a la variedad de las unidades mínimas y/o máximas ornamentales, mucho más rica en la generación precedente. Por el contrario, en esta nueva etapa aumentan considerablemente los productores de moldes que rubrican sus instrumentos. En primer lugar, se han de mencionar aquellos artesanos que emplean marcas epigráficas como *A*, *CAP*, *DAI*, *IAAE*, *LA*, *L.C.A*, *LMF*, *P*, *P.N.V*, *QNL*, (...) *AF* y otras

más de difícil interpretación o fragmentadas. Por otro lado, aparecen productores de moldes que signan anepígrafamente. En este caso, empleando principalmente motivos vegetales, pero también de otro tipo y diseño (Fernández-García y Serrano, 2013: 95-98; Serrano Arnáez, 2016: 133-160).

Por último, durante los últimos años del siglo I y gran parte del siglo II, coincidiendo con la tercera generación, las marcas sobre moldes desaparecen y las ornamentaciones pierden en variedad y calidad (Fernández-García, 2004: 265; Fernández-García, 2015: 58-60).

4.2.2 Fotogrametría SfM y postprocesos sobre la cerámica de Los Villares de Andújar. Un enfoque necesario

A pesar del tradicional peso que la *terra sigillata* ha tenido en la literatura científica derivada de los estudios sobre este complejo alfarero, la diversidad del material arqueológico cerámico recuperado es considerablemente mayor. De hecho, la existencia de estudios precedentes en torno a la reconstrucción 3D de recipientes de *terra sigillata isturgitana*, quedan demasiado limitados a nivel metodológico y de material (Serrano *et al.*, 2013: 102-106). Además de centrarse en el análisis del material de *terra sigillata*, estos estudios se basan en el empleo del láser scanner 3D y el análisis estadístico principalmente (Esquivel *et al.*, 2019: 174-190; Serrano *et al.*, 2013: 102-106), obviando algunas de las nuevas posibilidades que aporta hoy tanto la Arqueología Virtual, como la fotogrametría SfM o los postprocesos derivados de ella.

A este respecto, uno de los propósitos de esta tesis es, precisamente, tratar de complementar el conocimiento obtenido hasta ahora de este yacimiento. *Isturgi* y su material cerámico componen, sin duda alguna, un objeto de estudio de un potencial, un interés y unas posibilidades aún enormes.

De este modo, y empleando Blender (Roosendaal, 1998: en línea) como bisagra conectora de todos los postprocesos, se han tratado de emplear herramientas de

reconstrucción, restauración y recreación virtual de forma prácticamente sistemática. Por otro lado, priorizando en este caso el uso de *softwares* de análisis virtual como Meshlab o los *add-ons* incluidos en el propio Blender, se tratarán de trazar cálculos volumétricos aproximativos sobre los moldes de *terra sigillata* hispánica recuperados y estudiados por Begoña Serrano Arnáez (2016: 15-600). Asimismo, estas herramientas de análisis de volúmenes han sido aplicadas sobre aquellas piezas que pudieron haberse producido mediante estos moldes (Maldonado y Fernández-García, en prensa; Maldonado y Fernández García, en prensa).

Por otro lado, piezas seleccionadas de *terra sigillata* han sido igualmente sometidas a procedimientos de *Reflectance Transformation Imaging* de tipo virtual. Con ello se pretende esclarecer la disposición y forma de aquellos *sigilla* con los que los maestros alfareros del complejo alfarero de Los Villares de Andújar marcaban sus producciones y que, por motivos de diversa índole, presentan diferente grado de deterioro.

Por último, y sobre un conjunto de cerámicas de tradición ibérica procedentes de este mismo complejo alfarero, se aplicarán dinámicas de tratamiento de imagen en tres dimensiones. Gracias a ello se podrán generar réplicas tiflológicas impresas en 3D que permitirán a personas con diverso grado de hipovidencia entender la disposición de los motivos decorativos plasmados sobre las mismas.

4.3 Fotogrametría aplicada a los moldes de *Terra Sigillata* Hispánica de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El cálculo volumétrico digital

En cuanto al sistema de elaboración de los vasos de *terra sigillata* decorados, a diferencia de los ejemplares lisos, presentaban una complejidad considerablemente mayor. Para la obtención de un vaso decorado era necesario pasar por, al menos, tres estadios productivos: la creación de punzones, la confección de los moldes mediante estos punzones y, finalmente, la obtención de los vasos propiamente dichos. Tanto los

punzones, los cuales analizaremos más pormenorizadamente en subapartados posteriores, como los propios moldes eran los instrumentos responsables de la calidad ornamental final de las piezas de *terra sigillata* hispánica.

A nivel macroscópico los moldes de *terra sigillata* hispánica de *Isturgi* pueden integrarse dentro de cinco grandes grupos (Serrano, 2016: 349-350).

- El Grupo 1: moldes con pastas de tonalidades rojas claras y tendencia a matices anaranjados (M20), inclusiones no plásticas brillantes escasas, fractura recta, rugosa, de porosidad baja, así como superficie alisada y cuidada.
- El Grupo 2: moldes con pastas que oscilan entre el rosa (M49) y el rojo palo (M50), desgrasante muy escaso, fractura recta, rugosa al tacto, con una porosidad muy baja y de superficie alisada en algunas ocasiones
- El Grupo 3: moldes caracterizados por tener una pasta de dos colores, uno más oscuro en la zona interna y otro más claro en la externa. El color interno tiende más al rosa o naranja (M25) y el exterior al beige (L50), posee un desgrasante muy fino, fractura recta y rugosa al tacto, así como una superficie cuidada, pero sin ningún tratamiento.
- El Grupo 4: moldes con pastas cerámicas de tono rosáceo (M35), desgrasante de pequeño tamaño, fractura recta y rugosa y una superficie sin tratamiento aparente y que presenta tonalidades blancas (K71) en el exterior y rosácea (M35) en el interior.
- El Grupo 5: moldes con pastas de tonos grises claros (L31), desgrasante fino, fractura recta y rugosa. La superficie presenta la misma tonalidad de la pasta, está cuidada y no tiene tratamiento aparente.

Tras este breve recorrido histórico-arqueológico sobre la importancia de un complejo alfarero como Los Villares de Andújar, conviene ahora exponer los resultados obtenidos. Con el fin de garantizar una narración lo más dinámica y comprensible posible, se ha

decidido segregar cada uno de los grupos cerámicos trabajados en subapartados independientes.

4.3.1 Experimentación y análisis



Figura 4.2. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas de moldes de *terra sigillata* hispánica que conforman del conjunto.

El primer lugar se expondrán los trabajos realizados sobre un conjunto de 24 moldes de *terra sigillata* hispánica. Las piezas, que ya han sido analizadas en profundidad por Serrano Arnáez en su tesis doctoral (2016: 15-900), fueron recuperados de los cortes 14 y 20 de Los Villares de Andújar, realizados durante las campañas de 1975 (Sotomayor *et al.*, 1979: 465-476). El objetivo inicial que se persigue con esta digitalización es efectuar cálculos de naturaleza volumétrica sobre cada una de estos moldes.

No obstante, para llevar a cabo un análisis de tipo volumétrico suele ser habitual la realización de una reconstrucción completa previa sobre la pieza (fig. 4.2) Dado el nivel de deterioro que habitualmente acompaña al contexto arqueológico, la fragmentación de los restos allí hallados suele ser bastante acusada y este conjunto de moldes no es una excepción.

Junto a las labores de creación, reconstrucción y presentación de los modelos fotogramétricos, el análisis de tipo volumétrico sobre piezas digitalizadas como los moldes de *terra sigillata* isturgitana, implica cuatro líneas de actuación y resultados que consideramos interesantes.

1. El modelo fotogramétrico propiamente dicho.
2. Calcular la cantidad de arcilla que requiere la fabricación del molde.
3. Calcular la cantidad de arcilla que requiere la fabricación de la pieza que se podría haber obtenido del molde.
4. Calcular las capacidades volumétricas, como contenedores, de las piezas derivadas del molde.

4.3.2 Resultados

Con el objetivo de facilitar la visualización y comprensión de los resultados, este subapartado ha quedado subdividido a su vez en cuatro epígrafes diferentes.

4.3.2.1 *Resultados 1: Modelos fotogramétricos*

La naturaleza digital de los modelos fotogramétricos no solo posibilita la realización de análisis posteriores precisos, sino que, cara a su difusión, presentación de los resultados y reproducibilidad permiten una combinación y una calidad representativa que difícilmente pueden conseguirse a través de las técnicas tradicionales de dibujo. Todo ello en un marco de representación puramente bidimensional. En el caso de poder trabajar de forma directa con los modelos tridimensionales interactivos, los beneficios son aún mayores.

Los resultados obtenidos en esta primera línea de actuación se desglosan a continuación pieza por pieza. Conviene aclarar que, por motivos de registro y para mantener una coherencia de formato a lo largo de la exposición de los resultados, las piezas han sido ordenadas y numeradas de forma correlativa usando un sistema diferente a su siglo original. No obstante, se incluye entre paréntesis, y en caso de tenerlo, su número de

sigla original. Asimismo, aquellas piezas que no poseían ningún tipo de signatura, o resultaba difícil su lectura, se identificaron con las siglas S/N y el número correlativo en que digitalizaron dentro de ese conjunto.

Del mismo modo y con el fin de aportar la mayor transparencia posible a todo el proceso de captura, registro, y postprocesado, se decidió crear tanto una ficha como un reporte exhaustivo de cada uno de los modelos tridimensionales. En estos documentos que han sido pertinentemente incluidos en el apartado de anexos (Anexos 8.2.1), se pueden consultar aquellos datos más técnicos.

- PIEZA 1 (C182)



Figura 4.3. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N°1 (C182) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/4fe54bc4013e4f16ab4109b2bb56a2c6> [última visita: 26/10/19]].

La pieza N° 1 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como C182 (fig. 4.3).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad beige

rosácea en el interior, desgrasante de pequeño tamaño, fractura recta y rugosa y una superficie sin tratamiento aparente. Esto permite integrarlo en el grupo 4 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se encuentra en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 2 (AJ23256)



Figura 4.4. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 2 (AJ23256) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/b85a0769f6104aef9ead0c8cf2862d7d> [última visita: 26/10/19]].

La pieza Nº 2 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ23256 (fig. 4.4).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad roja clara y

tendencia a matices anaranjados, desgrasante de pequeño tamaño, fractura recta y rugosa y una superficie alisada y cuidada. Esto permite integrarlo en el grupo 1 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos coincidentes a través de pegamento.

- PIEZA 3 (AJ6019)



Figura 4.5. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 3 (AJ6019) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/eca25d4c09e24ce68e509e6b6ed734a5> [última visita: 26/10/19]].

La pieza N° 3 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ6019 (fig. 4.5).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad roja clara

con tendencia a matices anaranjados. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie alisada y cuidada. Esto permite integrarlo en el grupo 1 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 4 (AJ20282)



Figura 4.6. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 4 (AJ20282) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/52eb65cf4f704abc899c67cb32f237d2> [última visita: 26/10/19]].

La pieza Nº 4 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ20282 (fig. 4.6).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad beige. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 5 (AJ3521)

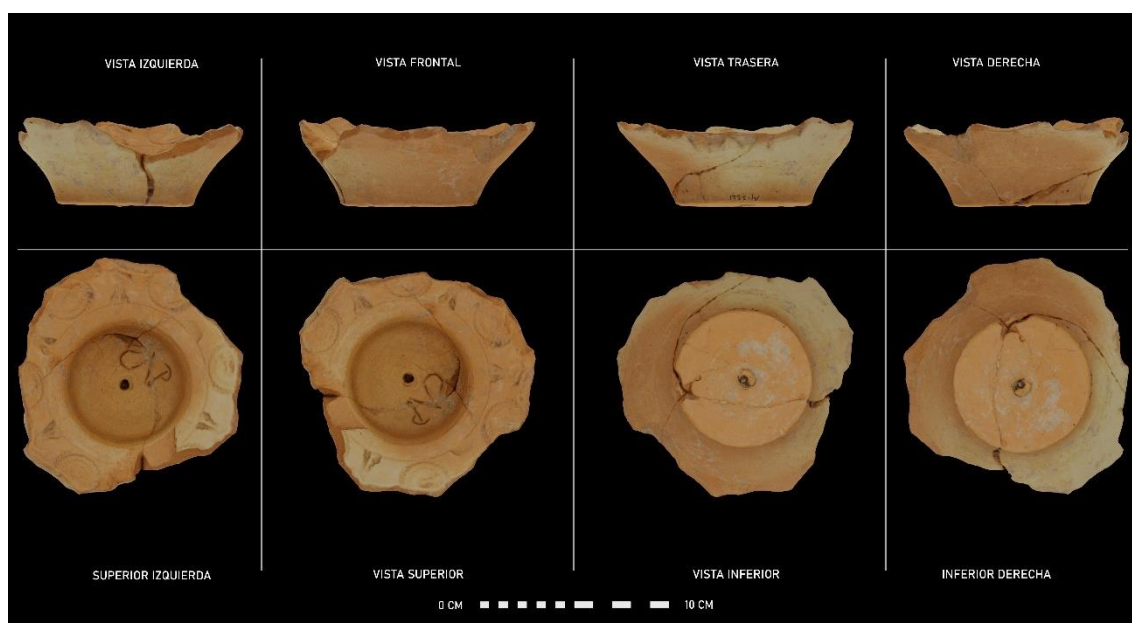


Figura 4.7. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N°5 (AJ3521) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/4a2184fcae1740f4830638f94cdea6b2> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 5 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde

procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ3521 (fig. 4.7).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad anaranjada muy evidente en el interior y algo más beige en el exterior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar. Del mismo modo, en el fondo del molde aparecen las siglas *CAP*, haciendo alusión a la *officina* o alfar encargado de su producción.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 6 (AJ71091)



Figura 4.8. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 6 (AJ71091) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén,

España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c8249c3b61254a6994ce0083eb8d7b43> [última visita: 26/10/19]).

La pieza Nº 6 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ71091 (fig. 4.8).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad anaranjada algo más oscura en el exterior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 1 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar. Del mismo modo, en el fondo del molde aparecen las siglas *CAP*, haciendo alusión a la *officina* encargado de su producción.

- PIEZA 7 (AJ2316)



Figura 4.9. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 7 (AJ2316) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/dc6a8ba413aa4f0b90a1fa0378c8ebb5> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 7 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ2316 (fig. 4.9).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad beige. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 8 (AJ20452)

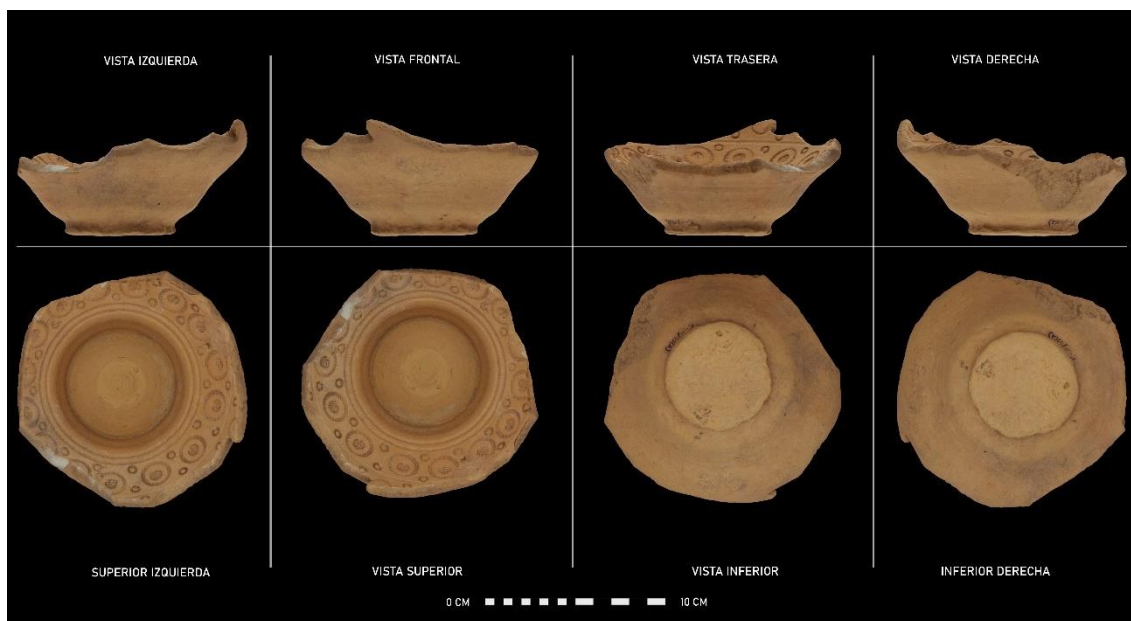


Figura 4.10. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 8 (AJ20452) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/e61292af7ce4447cb23b7eaf5d56f2b4> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 8 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ20452 (fig. 4.10).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad que oscila entre el rosa y el rojo palo. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 2 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos

motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 9 (AJ81471)



Figura 4.11. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 9 (AJ81471) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/4920f289615b494599b4427e8b63b717> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 9 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ81471 (fig. 4.11).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta una tonalidad que oscila entre el rosa y el rojo palo. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie poco cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 2 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, se encuentra bastante deteriorada y combina diversos motivos circulares,

verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 10 (AJ2336)



Figura 4.12. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 10 (AJ2336) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/cf090713d1254f9d87a61bb67d5185c4> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 10 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ2336 (fig. 4.12).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta una tonalidad que oscila entre el rosa y el rojo palo. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie poco cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 2 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares,

verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 11 (AJ4221)



Figura 4.13. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 11 (AJ4221) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/0347b22da79940ae9f00868670bba8d9> [última visita: 26/10/19]).

La pieza Nº 11 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ4221 (fig. 4.13).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad beige más rosada en su interior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata*

resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 12 (AJ7562)



Figura 4.14. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 12 (AJ7562) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/b70380cad1f64ba7a331148093d5df45> [última visita: 26/10/19]).

La pieza Nº 12 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ7562 (fig. 4.14).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad gris. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento aparente. Esto permite integrarlo en el grupo 5 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se

dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 13 (AJ21111)



Figura 4.15. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 13 (AJ21111) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/pieza-13-molde-aj21111-c8224be86d594a6692d225e538ebed4f> [última visita: 26/10/19)].

La pieza Nº 13 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ21111 (fig. 4.15).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad rosácea más blanquecina en el exterior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 4 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las

piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 14 (AJ1532)



Figura 4.16. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 14 (AJ1532) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c809683ab9a647caa65a7613d2bc6f4d> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 14 se obtuvo a partir de la digitalización de un pequeño fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ1532 (fig. 4.16).

A pesar de su pequeño tamaño el recipiente cerámico conserva parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad que oscila entre el rosa y el rojo palo. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 2 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración

se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 15 (AJ2327)



Figura 4.17. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 15 (AJ2327) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d0045e753c7c44db9153bed872d775de> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 15 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ2327 (fig. 4.17).

A pesar de su estado fragmentario, el recipiente cerámico conserva gran parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad beige algo más anaranjada en el interior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las

piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 16 (AJ81333)



Figura 4.18. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 16 (AJ81333) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/90dcd46340d4a5b8b7528cf371b7e9a> [última visita: 26/10/19]].

La pieza N° 16 se obtuvo a partir de la digitalización del pequeño fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ81333 (fig. 4.18).

A pesar de su reducido tamaño, el fragmento cerámico conserva parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad roja clara y tendencia a matices anaranjados. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y alisada. Esto permite integrarlo en el grupo 1 según la clasificación trazada por Begoña Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina

diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 17 (AJ2443)



Figura 4.19. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 17 (AJ2443) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c78d9e2a0a0f4f4eb09d0f536415e453> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 17 se obtuvo a partir de la digitalización del pequeño fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ2443 (fig. 4.19).

A pesar de su reducido tamaño, el fragmento cerámico conserva parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad beige rojiza. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales,

horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 18 (AJ70667)



Figura 4.20. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 18 (AJ70667) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/8054b714a0474fe287c11ed67040b0eb> [última visita: 26/10/19]].

La pieza N° 18 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ70667 (fig. 4.20).

El fragmento cerámico conserva parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad roja clara y tendencia a matices anaranjados. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y alisada. Esto permite integrarlo en el grupo 1 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 19 (AJ20102)

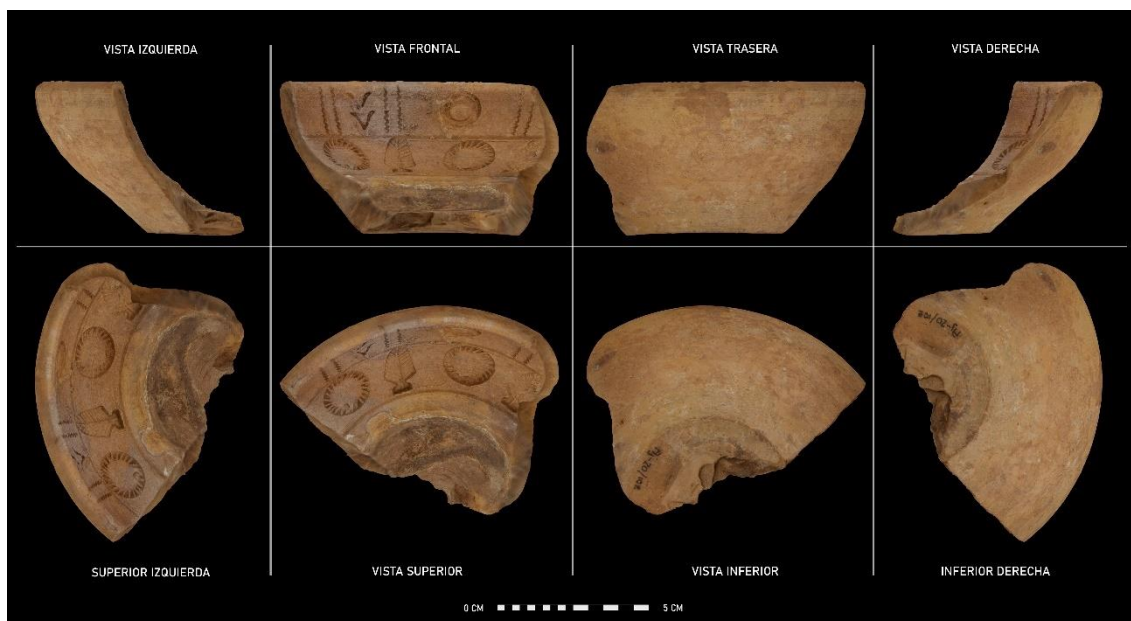


Figura 4.21. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 19 (AJ20102) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d58a710a284b4881b58e0298892bc438> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 19 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ20102 (fig. 4.21).

El fragmento cerámico conserva parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una beige algo más rosácea en el interior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 20 (AJ81021)



Figura 4.22. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 20 (AJ81021) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/24e61db161d54c6e995b59fac9eb92f7> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 20 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ81021 (fig. 4.22).

El fragmento cerámico conserva parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad rojiza bastante oscura. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y ligeramente alisada. Esto permite integrarlo en el grupo 2 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

- PIEZA 21 (AJ9086)



Figura 4.23. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 21 (AJ9086) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/628fa4239bf24edba2e48a7e2e75c> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 21 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ9086 (fig. 4.23).

A pesar de su reducido tamaño, el fragmento cerámico conserva parte de la pared, el borde y la decoración, pero no de la base. Presenta igualmente una tonalidad rosácea clara y tendencia a matices anaranjados. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y alisada. Esto permite integrarlo en el grupo 1 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

- PIEZA 22 (AJ20152)



Figura 4.24. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 22 (AJ20152) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/e7911cdbac21405db1b9a6f8efb9fbac> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 22 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ20152 (fig. 4.24).

A pesar de su reducido tamaño, el fragmento cerámico conserva parte de la base, la pared, el borde y la decoración. Presenta igualmente una tonalidad beige algo rosácea en el interior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada, pero sin tratamiento adicional aparente. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-

332) que no es objetivo de esta tesis analizar. Del mismo modo, en el fondo del molde aparecen las siglas AN, haciendo alusión a la *officina*.

- PIEZA 23 (AJ20101)



Figura 4.25. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 23 (AJ20101) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace <https://sketchfab.com/3d-models/0f4a86e0d38f43d19930e6bc0af632a0> [última visita: 26/10/19]).

La pieza N° 23 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ20101 (fig. 4.25).

El fragmento cerámico conserva parte de la base, la pared y la decoración, pero no del borde, lo que dificultó las tareas de reconstrucción virtual. Presenta igualmente una beige con tendencia a matices rosáceos en su interior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración se dispone en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos

(Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis analizar. Del mismo modo, en el fondo del molde aparecen las siglas *LMF*, haciendo alusión a la *officina*.

- PIEZA 24 (AJ20324)



Figura 4.26. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 24 (AJ20324) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c8402bf79ee84a2fa5023fd2fd1fb81e> [última visita: 26/10/19]].

La pieza N° 24 se obtuvo a partir de la digitalización del fragmento de un molde cerámico con el que se producía cerámica tipo *terra sigillata* hispánica. En este caso, el molde procede del complejo alfarero de Los Villares de Andújar y fue originalmente registrado como AJ20324 (fig. 4.26).

El fragmento cerámico conserva parte del borde, la base, la pared y la decoración. Presenta igualmente una beige con tendencia a matices rosáceos en su interior. Su desgrasante es de pequeño tamaño, tiene una fractura recta y rugosa, así como una superficie cuidada y sin tratamiento. Esto permite integrarlo en el grupo 3 según la clasificación trazada por Serrano Arnáez (2016: 349-350). La decoración está realizada en negativo para garantizar la impronta sobre las piezas de *terra sigillata* resultantes, está realizada con bastante precisión y combina diversos motivos circulares, verticales, horizontales y figurativos (Serrano, 2016: 243-332) que no es objetivo de esta tesis

analizar. Del mismo modo, en el fondo del molde aparecen las siglas incompletas *M[...]*, las cuales harían alusión a la *officina* encargada de su producción.

Igualmente, la pieza parece haber sido sometida a un proceso de restauración física o anastilosis mediante la unión de varios fragmentos con pegamento.

4.3.2.2 Resultados 2: Cantidad de arcilla necesaria para la producción de un molde de Terra Sigillata Hispánica de Los Villares de Andújar (Jaén, España)

La segunda línea de actuación permite deducir la cantidad, siempre aproximada, de arcilla que fue necesaria para la producción del molde completo. Una vez digitalizado y reconstruido el molde en Blender (Blender, 1998: en línea), pueden llevarse a cabo sobre él cálculos volumétricos de forma automática. Como se ha podido comprobar en Cloud Compare, la base topológica reconstruida en Blender a partir de los perfiles corregidos de los mismos, presenta un alto grado de semejanza con la morfometría de los propios moldes escaneados (fig. 4.27). No obstante, se hace necesario entender que la precisión no es, en ningún caso, absoluta. Por ello, las cifras que pueden arrojar este tipo de cálculos serán siempre aproximativas.

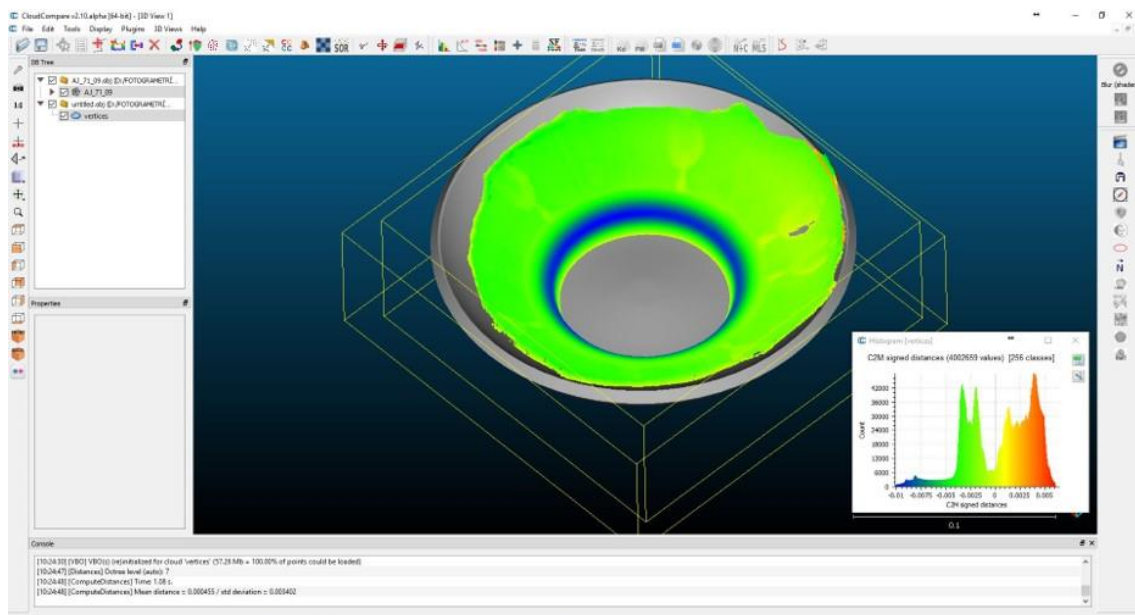


Figura 4.27. Comparación en el *software* CloudCompare del grado de semejanza entre el modelo fotogramétrico del molde AJ71091 (forma en color) y su forma reconstruida (forma gris) a partir de sus perfiles corregidos. La tendencia hacia la gama cromática fría, hace referencia a aquellas partes en las que

existe un mayor parecido entre ambas formas. Por el contrario, los colores de tonos cálidos indican una mayor disparidad.

FICHA	MOLDE	DIMENSIONES MOLDE RECONSTRUIDO	ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE ARCILLA EMPLEADO
Nº1	C_182	Diámetro: 17.5 cm * Altura: 7.3 cm	0.318 litros / 318 cm ³ (+ 10 % = 350 cm ³)
Nº2	AJ_23_25_6	Diámetro: 14.6 cm * Altura: 5.9 cm	0.154 litros / 154 cm ³ (+ 10 % = 169 cm ³)
Nº3	AJ_60_19	Diámetro: 14.7 cm * Altura: 6.3 cm	0.228 litros / 228 cm ³ (+ 10 % = 240 cm ³)
Nº4	AJ_20_28_2	Diámetro: 18.5 cm * Altura: 6.8 cm	0.344 litros / 344 cm ³ (+ 10 % = 378 cm ³)
Nº5	AJ_35_21	Diámetro: 15.7 cm * Altura: 8.7 cm	0.371 litros / 371 cm ³ (+ 10 % = 408 cm ³)
Nº6	AJ_71_09_1	Diámetro: 17.6 cm * Altura: 8.8 cm	0.323 litros / 323 cm ³ (+ 10 % = 355 cm ³)
Nº7	AJ_23_16	Diámetro: 19.8 cm * Altura: 8.9 cm	0.618 litros / 618 cm ³ (+ 10 % = 680 cm ³)
Nº8	AJ_20_45_2	Diámetro: 15 cm * Altura: 8.2 cm	0.290 litros / 290 cm ³ (+ 10 % = 319 cm ³)
Nº9	AJ_81_47_1	Diámetro: 14.9 cm * Altura: 7.6 cm	0.296 litros / 296 cm ³ (+ 10 % = 323 cm ³)
Nº10	AJ_23_36	Diámetro: 18.3 cm * Altura: 8.6 cm	0.348 litros / 348 cm ³ (+ 10 % = 383 cm ³)
Nº11	AJ_42_21	Diámetro: 20 cm * Altura: 8.3 cm	0.492 litros / 492 cm ³ (+ 10 % = 541 cm ³)
Nº12	AJ_75_62	Diámetro: 16 cm * Altura: 6.1 cm	0.207 litros / 207 cm ³ (+ 10 % = 227 cm ³)
Nº13	AJ_21_11_1	Diámetro: 15.5 cm * Altura: 6.4 cm	0.163 litros / 163 cm ³ (+ 10 % = 179 cm ³)
Nº14	AJ_15_32	Diámetro: 14.4 cm * Altura: 6.3 cm	0.249 litros / 249 cm ³ (+ 10 % = 274 cm ³)
Nº15	AJ_23_27	Diámetro: 14.4 cm * Altura: 5.6 cm	0.158 litros / 158 cm ³ (+ 10 % = 174 cm ³)
Nº16	AJ_81_33_3	Diámetro: 15.3 cm * Altura: 6.3 cm	0.286 litros / 286 cm ³ (+ 10 % = 315 cm ³)
Nº17	AJ_24_43	Diámetro: 11.4 cm * Altura: 6.6 cm	0.142 litros / 142 cm ³ (+ 10 % = 156 cm ³)
Nº18	AJ_70_66_7	Diámetro: 13.5 cm * Altura: 6.6 cm	0.231 litros / 231 cm ³ (+ 10 % = 254 cm ³)
Nº19	AJ_20_102	Diámetro: 11.9 cm * Altura: 5 cm	0.122 litros / 122 cm ³ (+ 10 % = 134 cm ³)
Nº20	AJ_81_02_1	Diámetro: 16.1 cm * Altura: 6.7 cm	0.291 litros / 291 cm ³ (+ 10 % = 320 cm ³)
Nº21	AJ_90_86	Diámetro: 13.2 cm * Altura: 5.7 cm	0.183 litros / 183 cm ³ (+ 10 % = 201 cm ³)
Nº22	AJ_20_15_2	Diámetro: 16.2 cm * Altura: 6.8 cm	0.304 litros / 304 cm ³ (+ 10 % = 334 cm ³)
Nº23	AJ_20_101	Diámetro: 15.7 cm * Altura: 6.6 cm	0.234 litros / 234 cm ³ (+ 10 % = 257 cm ³)
Nº24	AJ_20_32_4	Diámetro: 15.2 cm * Altura: 5.6 cm	0.220 litros / 220 cm ³ (+ 10 % = 242 cm ³)

Figura 4.28. Desglose de la cantidad estimadas de arcilla que era necesaria para la producción de cada uno de los moldes digitalizados.

El cálculo volumétrico es una tarea relativamente sencilla de ejecutar, una vez llevado a cabo todos los procesos de digitalización y reconstrucción de los modelos. En este caso,

simplemente se ha de aplicar el *add-on* "3D Print Toolbox" o bien exportar el modelo tridimensional a otros *softwares* como Meshlab (Cignoni *et al.*, 2008: 130-134; Meshlab, 2008: en línea). Como ya se mencionó en anteriores capítulos, con el fin de corroborar la exactitud de la cifra todas las cantidades fueron calculadas en ambas plataformas de forma sistemática. Dado que entendemos el volumen "como el espacio que ocupa un cuerpo", la cantidad estimada por el programa es relativamente fácil de extrapolar a un material de naturaleza completamente diferente como es la arcilla. Posteriormente, la cifra extraída podría ajustarse aún más aplicando correcciones matemáticas capaces de calcular variables como el porcentaje de agua perdida durante el proceso de modelado, secado y cocción de la propia pieza. Y todo ello atendiendo también al comportamiento del tipo concreto de arcilla empleado para su elaboración.

En nuestro caso, la cifra calculada por el *software* se ha ajustado teniendo en cuenta factores como la dilatación consustancial al proceso de cocción de la arcilla (Carretero *et al.*, 2002: 302-304). Dada la temperatura que alcanzaban los hornos usados en esta época para la producción de este tipo de cerámica (en torno a los 1000 grados), se estima en un 10 % el porcentaje en el que este tipo de piezas cerámicas reducirían su volumen durante la cocción (Picon, 1998: 106). Así, añadiendo este porcentaje a la cantidad previamente calculada por el *software*, se puede estimar de forma mucho más exacta la medida de arcilla húmeda que habría sido necesaria para producir este tipo de piezas. En este sentido, las cantidades (fig. 4.28) podrían ajustarse aún más, teniendo en cuenta aspectos adicionales como, por ejemplo, el porcentaje de materia prima que podría perderse durante el proceso de modelado, así como la composición química de la arcilla empleada (Picon y Vauthey, 1975: 288).

4.3.2.3 Resultados 3: Cantidad de arcilla necesaria para la producción de una pieza de Terra Sigillata Hispánica de Los Villares de Andújar (Jaén, España)

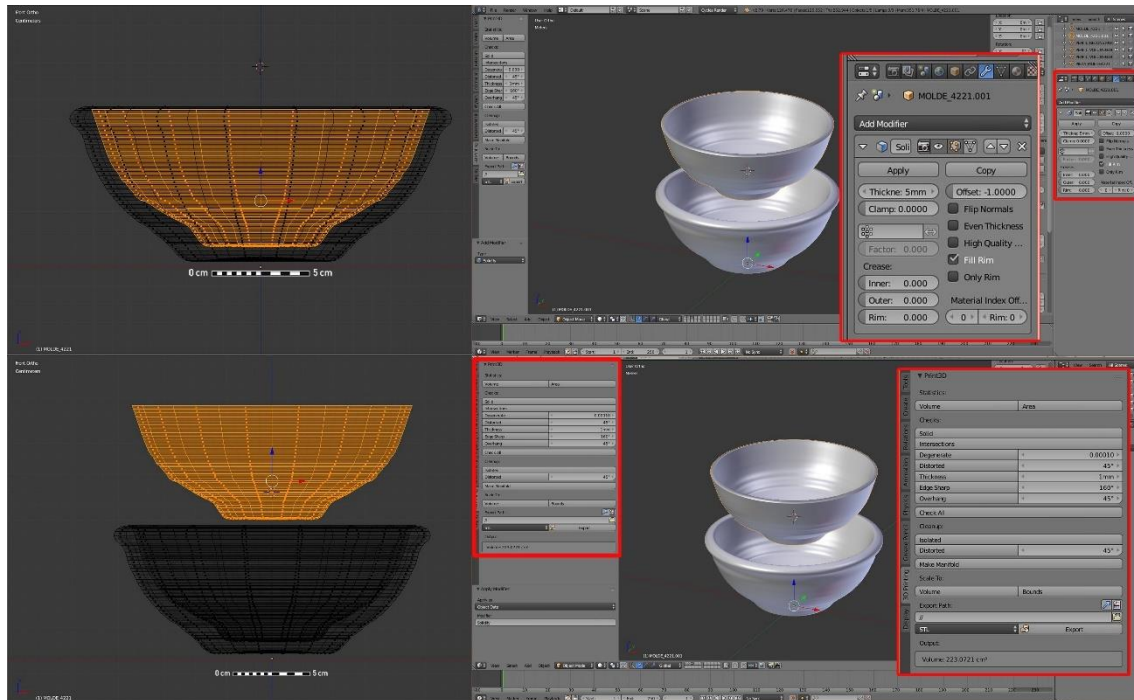


Figura 4.29. Desglose del procedimiento de aplicación del modificador *solidify* para la reconstrucción de la posible pieza procedente del molde de *terra sigillata* hispánica. A partir del ejemplo del molde AJ4221.

La tercera línea de actuación permite, tras obtener digitalmente la que podría haber sido la pieza cerámica resultante del uso del propio molde, calcular el volumen de arcilla necesario para la fabricación de la misma. Para ello, se debe duplicar la cara interna del molde original, previamente reconstruido. Seguidamente, hay que añadirle un grosor determinado a las paredes de las cerámicas que se quiere reconstruir. Esto es algo que se realiza de forma semi-automática aplicando el modificador “*solidify*” e indicando al programa el porcentaje de grosor que queremos que tenga la pieza resultante (fig. 4.29). En este caso, se estableció un grosor aceptable de unos 5 mm en la parte superior (Fernández-García, 2015: 59-82; Fernández-García *et al.*, 2016: 347-386; Mezquíriz, 1983: 125-129; Ruiz, 2014: 15-100; Serrano, 2016: 15-600), engrosándose proporcionalmente hasta llegar a la base.

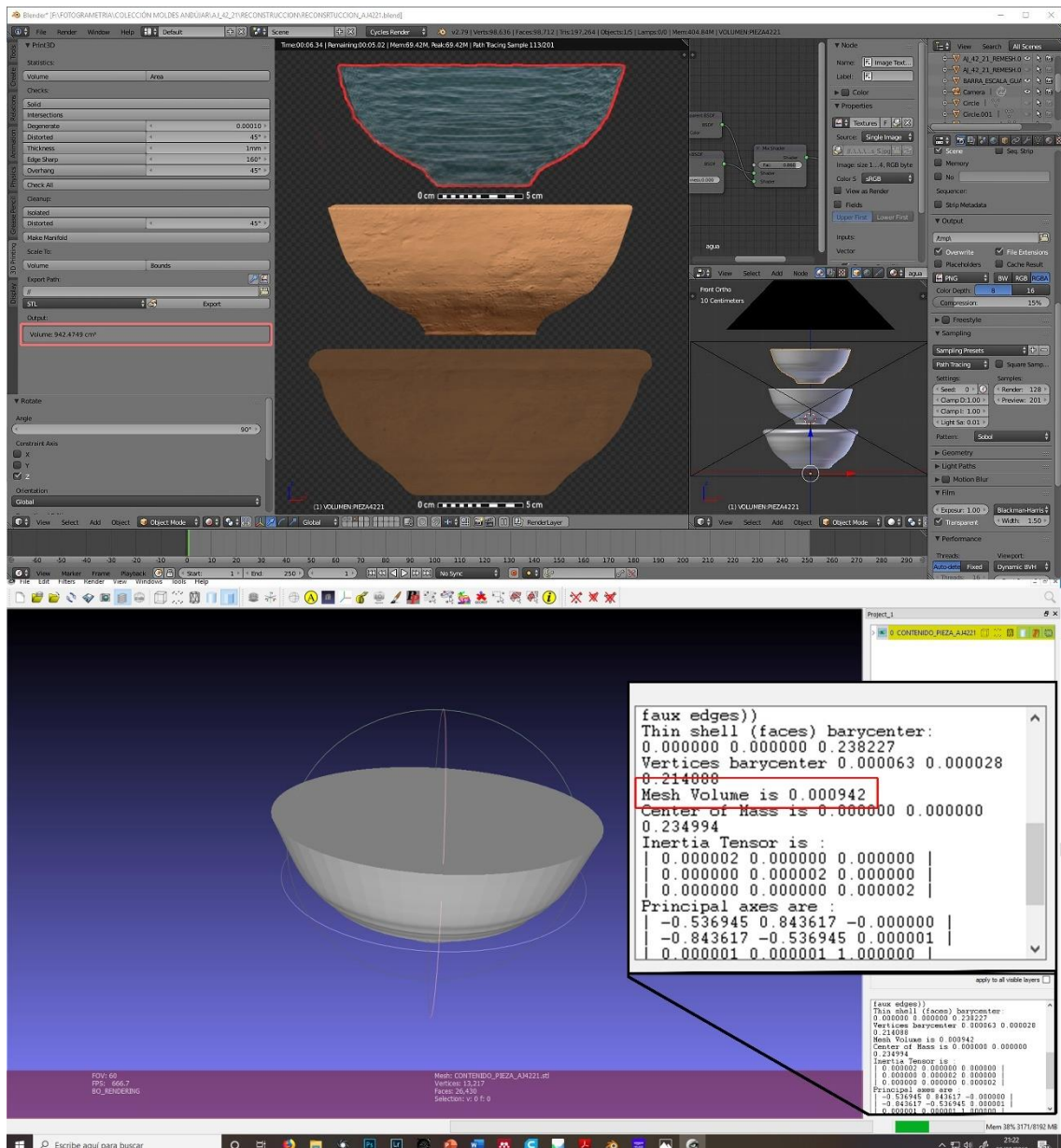


Figura 4.30. Doble comprobación de la capacidad volumétrica de la pieza obtenida del molde AJ4221. En la parte superior, cálculo digital llevado a cabo en Blender. En la parte inferior cálculo llevado a cabo en Meshlab. En ambos casos la cantidad arrojada por los *softwares* es de 942 cm³.

Al igual que ocurría para calcular el volumen de arcilla empleado para la producción de los moldes, la cantidad de material necesario para producir las piezas de *terra sigillata* derivadas de ellos, se calcula automáticamente gracias a los *softwares* anteriormente mencionados y con un modelo tridimensional previamente escalado. Las cifras arrojadas por Blender, el *software* base que se ha empleado a lo largo de la tesis, se cotejaron con los resultados obtenidos en Meshlab, siendo estos idénticos en todos los casos (fig. 4.30).

FICHA	MOLDE DE ORIGEN	DIMENSIONES PIEZA RECONSTRUIDA	VOLUMEN DE ARCILLA EMPLEADO
Nº1	C_182	Diámetro: 15.7 cm * Altura: 7 cm	0.168 litros / 168 cm ³ (+ 10 % = 185 cm ³)
Nº2	AJ_23_25_6	Diámetro: 13.6 cm * Altura: 5.6 cm	0.105 litros / 105 cm ³ (+ 10 % = 115 cm ³)
Nº3	AJ_60_19	Diámetro: 13.3 cm * Altura: 5.2 cm	0.106 litros / 106 cm ³ (+ 10 % = 116 cm ³)
Nº4	AJ_20_28_2	Diámetro: 17.2 cm * Altura: 5.7 cm	0.168 litros / 168 cm ³ (+ 10 % = 184 cm ³)
Nº5	AJ_35_21	Diámetro: 14 cm * Altura: 7.6 cm	0.148 litros / 148 cm ³ (+ 10 % = 162 cm ³)
Nº6	AJ_71_09_1	Diámetro: 16.4 cm * Altura: 7.8 cm	0.210 litros / 210 cm ³ (+ 10 % = 231 cm ³)
Nº7	AJ_23_16	Diámetro: 19.2 cm * Altura: 8.1 cm	0.241 litros / 241 cm ³ (+ 10 % = 265 cm ³)
Nº8	AJ_20_45_2	Diámetro: 13.6 cm * Altura: 6.3 cm	0.131 litros / 131 cm ³ (+ 10 % = 144 cm ³)
Nº9	AJ_81_47_1	Diámetro: 12.7 cm * Altura: 6.3 cm	0.099 litros / 99 cm ³ (+ 10 % = 109 cm ³)
Nº10	AJ_23_36	Diámetro: 17 cm * Altura: 8.2 cm	0.197 litros / 197 cm ³ (+ 10 % = 217 cm ³)
Nº11	AJ_42_21	Diámetro: 17.7 cm * Altura: 7.5 cm	0.204 litros / 204 cm ³ (+ 10 % = 224 cm ³)
Nº12	AJ_75_62	Diámetro: 14.3 cm * Altura: 5.5 cm	0.121 litros / 121 cm ³ (+ 10 % = 133 cm ³)
Nº13	AJ_21_11_1	Diámetro: 14.6 cm * Altura: 6 cm	0.139 litros / 139 cm ³ (+ 10 % = 152 cm ³)
Nº14	AJ_15_32	Diámetro: 13.3 cm * Altura: 5.7 cm	0.122 litros / 138 cm ³ (+ 10 % = 152 cm ³)
Nº15	AJ_23_27	Diámetro: 13.4 cm * Altura: 5.3 cm	0.104 litros / 104 cm ³ (+ 10 % = 114 cm ³)
Nº16	AJ_81_33_3	Diámetro: 14.2 cm * Altura: 5.3 cm	0.121 litros / 121 cm ³ (+ 10 % = 133 cm ³)
Nº17	AJ_24_43	Diámetro: 10.4 cm * Altura: 6.1 cm	0.087 litros / 87 cm ³ (+ 10 % = 96 cm ³)
Nº18	AJ_70_66_7	Diámetro: 11.9 cm * Altura: 5.6 cm	0.105 litros / 105 cm ³ (+ 10 % = 115 cm ³)
Nº19	AJ_20_102	Diámetro: 10.7 cm * Altura: 4.4 cm	0.071 litros / 71 cm ³ (+ 10 % = 78 cm ³)
Nº20	AJ_81_02_1	Diámetro: 14.6 cm * Altura: 5.8 cm	0.131 litros / 131 cm ³ (+ 10 % = 144 cm ³)
Nº21	AJ_90_86	Diámetro: 11.7 cm * Altura: 5 cm	0.089 litros / 89 cm ³ (+ 10 % = 98 cm ³)
Nº22	AJ_20_15_2	Diámetro: 14.4 cm * Altura: 5.8 cm	0.150 litros / 150 cm ³ (+ 10 % = 165 cm ³)
Nº23	AJ_20_101	Diámetro: 14.3 cm * Altura: 5.9 cm	0.122 litros / 122 cm ³ (+ 10 % = 134 cm ³)
Nº24	AJ_20_32_4	Diámetro: 13.9 cm * Altura: 5 cm	0.114 litros / 114 cm ³ (+ 10 % = 125 cm ³)

Figura 4.31. Desglose de la cantidad estimadas de arcilla que era necesaria para la producción de cada una de las piezas que se podrían haber obtenido de los moldes digitalizados.

Las pruebas de cálculo llevadas a cabo sobre las piezas que, probablemente, se obtenían de los moldes de *terra sigillata* isturgitana digitalizados, permite obtener cantidades de arcillas razonables para la producción de este tipo de piezas (fig. 4.31). Siguiendo esta dinámica, se estima que un complejo alfarero como el de *Isturgi*, necesitaría de unos

144 cm³ de arcilla, de media, para la producción de una pieza con unas dimensiones comprendidas entre los 14-15 cm de diámetro y los 5-6 cm de alto.

4.3.2.4 Resultados 4: Capacidad volumétrica de los recipientes de Terra Sigillata Hispánica de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

FICHA	MOLDE	DIMENSIONES MOLDE RECONSTRUIDO	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA
Nº1	C_182	Diámetro: 17.5 cm * Altura: 7.3 cm	863 cm ³
Nº2	AJ_23_25_6	Diámetro: 14.6 cm * Altura: 5.9 cm	436 cm ³
Nº3	AJ_60_19	Diámetro: 14.7 cm * Altura: 6.3 cm	412 cm ³
Nº4	AJ_20_28_2	Diámetro: 18.5 cm * Altura: 6.8 cm	828 cm ³
Nº5	AJ_35_21	Diámetro: 15.7 cm * Altura: 8.7 cm	722 cm ³
Nº6	AJ_71_09_1	Diámetro: 17.6 cm * Altura: 8.8 cm	1179 cm ³
Nº7	AJ_23_16	Diámetro: 19.8 cm * Altura: 8.9 cm	1261 cm ³
Nº8	AJ_20_45_2	Diámetro: 15 cm * Altura: 8.2 cm	631 cm ³
Nº9	AJ_81_47_1	Diámetro: 14.9 cm * Altura: 7.6 cm	402 cm ³
Nº10	AJ_23_36	Diámetro: 18.3 cm * Altura: 8.6 cm	936 cm ³
Nº11	AJ_42_21	Diámetro: 20 cm * Altura: 8.3 cm	1156 cm ³
Nº12	AJ_75_62	Diámetro: 16 cm * Altura: 6.1 cm	523 cm ³
Nº13	AJ_21_11_1	Diámetro: 15.5 cm * Altura: 6.4 cm	553 cm ³
Nº14	AJ_15_32	Diámetro: 14.4 cm * Altura: 6.3 cm	518 cm ³
Nº15	AJ_23_27	Diámetro: 14.4 cm * Altura: 5.6 cm	420 cm ³
Nº16	AJ_81_33_3	Diámetro: 15.3 cm * Altura: 6.3 cm	527 cm ³
Nº17	AJ_24_43	Diámetro: 11.4 cm * Altura: 6.6 cm	340 cm ³
Nº18	AJ_70_66_7	Diámetro: 13.5 cm * Altura: 6.6 cm	491 cm ³
Nº19	AJ_20_102	Diámetro: 11.9 cm * Altura: 5 cm	246 cm ³
Nº20	AJ_81_02_1	Diámetro: 16.1 cm * Altura: 6.7 cm	553 cm ³
Nº21	AJ_90_86	Diámetro: 13.2 cm * Altura: 5.7 cm	348 cm ³
Nº22	AJ_20_15_2	Diámetro: 16.2 cm * Altura: 6.8 cm	601 cm ³
Nº23	AJ_20_101	Diámetro: 15.7 cm * Altura: 6.6 cm	538 cm ³
Nº24	AJ_20_32_4	Diámetro: 15.2 cm * Altura: 5.6 cm	474 cm ³

Figura 4.32. Desglose de la capacidad volumétrica de cada uno de los moldes digitalizados.

FICHA	MOLDE DE ORIGEN	DIMENSIONES PIEZA RECONSTRUIDA	CAPACIDAD VOLUMÉTRICA
Nº1	C_182	Diámetro: 15.7 cm * Altura: 7 cm	700 cm ³
Nº2	AJ_23_25_6	Diámetro: 13.6 cm * Altura: 5.6 cm	330 cm ³
Nº3	AJ_60_19	Diámetro: 13.3 cm * Altura: 5.2 cm	337 cm ³
Nº4	AJ_20_28_2	Diámetro: 17.2 cm * Altura: 5.7 cm	679 cm ³
Nº5	AJ_35_21	Diámetro: 14 cm * Altura: 7.6 cm	548 cm ³
Nº6	AJ_71_09_1	Diámetro: 16.4 cm * Altura: 7.8 cm	979 cm ³
Nº7	AJ_23_16	Diámetro: 19.2 cm * Altura: 8.1 cm	1228 cm ³
Nº8	AJ_20_45_2	Diámetro: 13.6 cm * Altura: 6.3 cm	500 cm ³
Nº9	AJ_81_47_1	Diámetro: 12.7 cm * Altura: 6.3 cm	300 cm ³
Nº10	AJ_23_36	Diámetro: 17 cm * Altura: 8.2 cm	861 cm ³
Nº11	AJ_42_21	Diámetro: 17.7 cm * Altura: 7.5 cm	942 cm ³
Nº12	AJ_75_62	Diámetro: 14.3 cm * Altura: 5.5 cm	425 cm ³
Nº13	AJ_21_11_1	Diámetro: 14.6 cm * Altura: 6 cm	458 cm ³
Nº14	AJ_15_32	Diámetro: 13.3 cm * Altura: 5.7 cm	387 cm ³
Nº15	AJ_23_27	Diámetro: 13.4 cm * Altura: 5.3 cm	350 cm ³
Nº16	AJ_81_33_3	Diámetro: 14.2 cm * Altura: 5.3 cm	413 cm ³
Nº17	AJ_24_43	Diámetro: 10.4 cm * Altura: 6.1 cm	258 cm ³
Nº18	AJ_70_66_7	Diámetro: 11.9 cm * Altura: 5.6 cm	314 cm ³
Nº19	AJ_20_102	Diámetro: 10.7 cm * Altura: 4.4 cm	182 cm ³
Nº20	AJ_81_02_1	Diámetro: 14.6 cm * Altura: 5.8 cm	473 cm ³
Nº21	AJ_90_86	Diámetro: 11.7 cm * Altura: 5 cm	263 cm ³
Nº22	AJ_20_15_2	Diámetro: 14.4 cm * Altura: 5.8 cm	468 cm ³
Nº23	AJ_20_101	Diámetro: 14.3 cm * Altura: 5.9 cm	441 cm ³
Nº24	AJ_20_32_4	Diámetro: 13.9 cm * Altura: 5 cm	390 cm ³

Figura 4.33. Desglose de la capacidad volumétrica de cada una de las piezas obtenidas de los moldes digitalizados.

En último lugar, mediante procedimientos análogos, sería posible también obtener una cifra bastante aproximada sobre la capacidad real de los moldes y de los recipientes producidos con ellos. Para ello, es necesario crear digitalmente un objeto completamente sólido que represente el espacio físico real que ocuparía el volumen contenido por ese objeto en concreto. Hecho esto, y siguiendo una dinámica similar a la

mencionada anteriormente, se puede medir el volumen mediante este tipo de herramientas digitales. Este tipo de mediciones no requieren, en este caso, de ajustes matemáticos tan específicos como en el caso anterior.

En términos generales, la producción de los moldes (fig. 4.28), piezas toscas, pero de gran resistencia mecánica y pensadas para una reutilización constante e intensiva, implica una cantidad de arcilla mucho mayor a las piezas de *terra sigillata* hispánica que de ellos derivan (fig. 4.31). En la mayoría de los casos, prácticamente duplica el volumen de arcilla a pesar de que las dimensiones y la capacidad volumétrica entre el molde de origen (fig. 4.32) y la pieza producida con él (fig. 4.33) resultan mucho más equidistantes.

4.4 Fotogrametría, Modelos Digitales de Elevaciones y RTI Virtual aplicado a la *Terra Sigillata* Hispánica del complejo alfarero de Los Villares de Andújar.



Figura 4.34. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas de *terra sigillata* hispánica que conforman del conjunto.

La elaboración de la famosa *terra sigillata* fue, sin duda alguna, una de las líneas productivas más importantes de las distintas *officinae* que configuraban el complejo

alfarero de Los Villares de Andújar. El peso a nivel productivo que tuvieron este tipo de cerámicas en las diversas *officinae* de *Isturgi* solo se ve superado por la importancia de esta en el marco de las investigaciones arqueológicas llevadas a cabo posteriormente.

En lo referente a las características físicas de esta cerámica, la *terra sigillata* hispánica de *Isturgi* presenta una arcilla normalmente calcárea, de textura granulosa e imperfecta, que nada recuerda a la pasta perfecta de las producciones de origen itálico, y con una amplia gama de colores entre los que predominan las gamas de tierra Siena tostada (C-36), ocre carne (C-46) y rosa (C-26) según la nomenclatura de Cailleux (Cailleux, 1963: 1-15). En lo referente al barniz sobresalen los tonos rojo inglés, en sus variantes F-26 y F-28. Habitualmente, el barniz presenta un aspecto brillante, homogéneo y bastante adherente. Sin embargo, algunos ejemplares escapan a la norma y presentan un barniz de poco brillo o casi mate y bastante quebradizo en algunas ocasiones. En cuanto a la variedad tipológica de la *terra sigillata* isturgitana se podría tildar de amplísima (Fernández-García y Macías, 2013: 181-186; Fernández-García y Moreno, 2013: 197-199), especialmente en el repertorio liso. Una dinámica que podríamos relacionar con la creatividad que los maestros alfareros intentaron conferir a sus obras.

Por otro lado, los vasos decorados y lisos de *terra sigillata* hispánica suelen distinguirse por incorporar una especie rúbrica o firma realizada mediante una suerte de tampón-punzón. Mediante esta rúbrica, ubicada habitualmente en el fondo del recipiente, se hacía alusión a la *officina* o al maestro alfarero encargado de su fabricación. En el caso de los vasos decorados, los moldes a partir de los que se producían también podían incluir algún tipo de rúbrica adicional que permitiese elucubrar la mano ejecutora del mismo. Según la disposición de la marca, se aludía al propio fabricante de este instrumento o sencillamente al maestro alfarero productor del ejemplar en *sigillata*. Por ejemplo, si la rúbrica se disponía en zonas del molde que al confeccionar el vaso no fuese visible (especialmente fondo interno, aunque también en la pared externa o en zonas alejadas de la decoración, se indicaba el artesano que efectuó dicho molde y no al maestro alfarero responsable de la pieza final (Fernández-García, 1999: 35-56). A este último le correspondía, por otro lado, la inserción de la marca intradecorativamente. En

el caso de los alfares isturgitanos se han podido identificar moldes que cumplen ambas funciones, así como otros carentes totalmente de firma (Fernández-García, 1991-92: 401-412; Serrano, 2016: 15-600).

Los motivos que llevaban a los maestros alfareros a marcar sus producciones ha sido un debate interesante a lo largo de la bibliografía derivada del estudio de la *terra sigillata*. En efecto, autores como Dragedorff (1981: 21) afirman que este tipo de marcas servían para identificar los productos que salían de un mismo alfar y poder estimar así el volumen de producción de este tipo de complejos. Por otro lado, Goudineau (1968: 355) y Pucci (1993: 74-78) consideran el proceso de entalle o rubrica de las piezas cerámicas una suerte de sistema de contabilidad. Asimismo, Riccioni (1972: 85) o Jacob y Leredde (1982: 92) afirman que esta podría ser una forma sencilla de identificar las producciones en grandes hornos de uso comunitario en el que diversos alfareros horneaban sus mercancías. En el caso de las producciones cerámicas isturgitanas se han evidenciado dos tipos de estas marcas: epigráficas y anepígrafas. En estas últimas se incluyen, entre otras, las llamadas marcas de entalle (Sotomayor, 1988). Sea como fuere, la realidad es que este tipo de marcas de entalle no son tan habituales como se piensa (Fernández, 1999: 37). Lejos de ello, resulta infrecuente localizar vasos de *terra sigillata* con este tipo de marcas anepígrafas.

Por otro lado, las marcas epigráficas se documentan en la primera y segunda generación de alfareros, con una amplia proliferación de la segunda en relación con la primera etapa productiva (Fernández-García, 1998:81-96; Sotomayor *et al.*, 39-43; Fernández-García, 2015:59-60).

Durante el proceso de elaboración de los vasos intervienen una serie de objetos de los que se vale el alfarero en las manufacturas lisas y/o decoradas. Son los punzones, empleados bien para plasmar sobre el fondo interno de los ejemplares lisos, la marca del fabricante o bien para componer la sintaxis ornamental de los moldes (fig. 4.35). Los moldes, a su vez, son instrumentos para confeccionar ejemplares decorados. En el caso concreto del barrio suburbano de *Isturgi*, y hasta día de hoy, aún no se ha recuperado ningún punzón. La explicación a una situación así es compleja, pero parece confirmar

dos puntos interesantes: la naturaleza frágil y el valor intrínseco que estos instrumentos tenían dentro del proceso productivo de la *terra sigillata*. Por este motivo, se utilizarían y conservarían con especial cuidado y durante mucho tiempo. Muy probablemente, custodiados por los propios artesanos en sus dependencias personales (Vertet, 1976: 101).

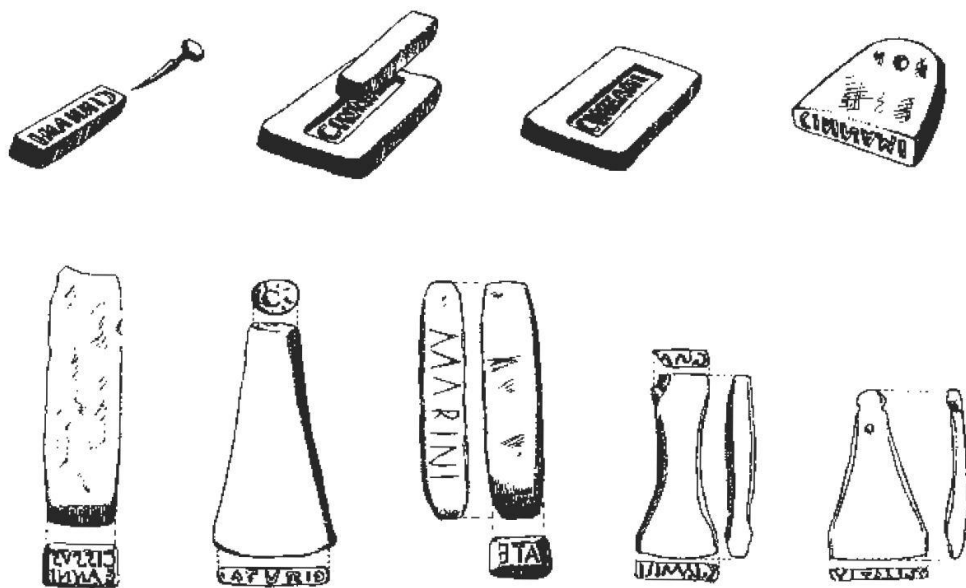


Lámina 11. Marca sobre punzón (según Hofmann).

Figura 4.35. Representación hipotética de la posible estructura de los punzones empleados para rubricar la *terra sigillata* (Fernández, 1999: 39).

4.4.1 Experimentación y análisis

A razón de esta problemática, se decidió elaborar un flujo de trabajo que permitiese obtener hipótesis reconstructivas coherentes de cómo eran y funcionaban estas herramientas en el complejo alfarero isturgitano (fig. 4.36). Para ello, contamos un ingrediente fundamental, aquellos ejemplares cerámicos isturgitanos donde los alfareros han dejado constancia de su trabajo mediante marcas epigráficas o anepígrafas (marcas de entalle) (Fernández-García, 1999; Hofmann, 1971; Pucci, 1993; Vertet, 1976). El nivel de deterioro de algunas de estas improntas dificultaba en gran parte su correcta lectura, por lo que la interpretación y elaboración de una recreación

veraz de los propios punzones se veían limitadas hasta cierto punto. Para solucionarlo, se decidió aplicar la técnica de la *Reflectance Transformation Imaging* de tipo virtual.



Figura 4.36. Hipótesis reconstructiva del punzón que pudo usarse para rubricar la pieza de *terra sigillata* hispánica AJ9089 procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La recreación fue llevada a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico realizado sobre la pieza real siguiendo la dinámica metodológica que se desglosará en las líneas sucesivas.

Es un hecho que la realización de modelos *Polynomial Texture Mapping* en entornos completamente digitales, y de forma semiautomatizada, supone una considerable reducción del tiempo y especialmente del esfuerzo invertido en aquellos proyectos de investigación que tratan de explorar las posibilidades de la Arqueología Virtual. En este sentido, la aplicación de una técnica como RTI virtual es una opción más que viable que permite, además de superar las limitaciones físicas derivadas de la metodología más tradicional de esta técnica, ampliar considerablemente las posibilidades de análisis y visualización de un modelo fotogramétrico bruto.

Partiendo de esta consideración, el conjunto de fragmentos cerámicos de *terra sigillata* hispánica procedentes del complejo alfarero de Los Villares de Andújar, se convertían en el escenario perfecto donde aplicar y comprobar la utilidad real del RTI de tipo virtual. En esta ocasión, la combinación de esta técnica en conjunto con otras como el modelo digital o la impresión 3D, haría posible además la reconstrucción física del punzón.

De esta forma, solo era necesario desarrollar un flujo metodológico que permitiese aislar, con una precisión milimétrica, las marcas grabadas en los productos de *terra sigillata* isturgitana. Para ello fue necesaria la realización de modelos de altísima resolución geométrica obtenidos mediante una estrategia de captura de datos que combinaba fotografías en detalle con otras generales de aquellas piezas seleccionadas. Gracias a ello se obtiene dos modelos tridimensionales procesados por separados en dos *chunks* o bloques independientes y que pueden combinarse posteriormente en el *software* fotogramétrico elegido. En este caso, Agisoft Metashape (fig. 4.37).

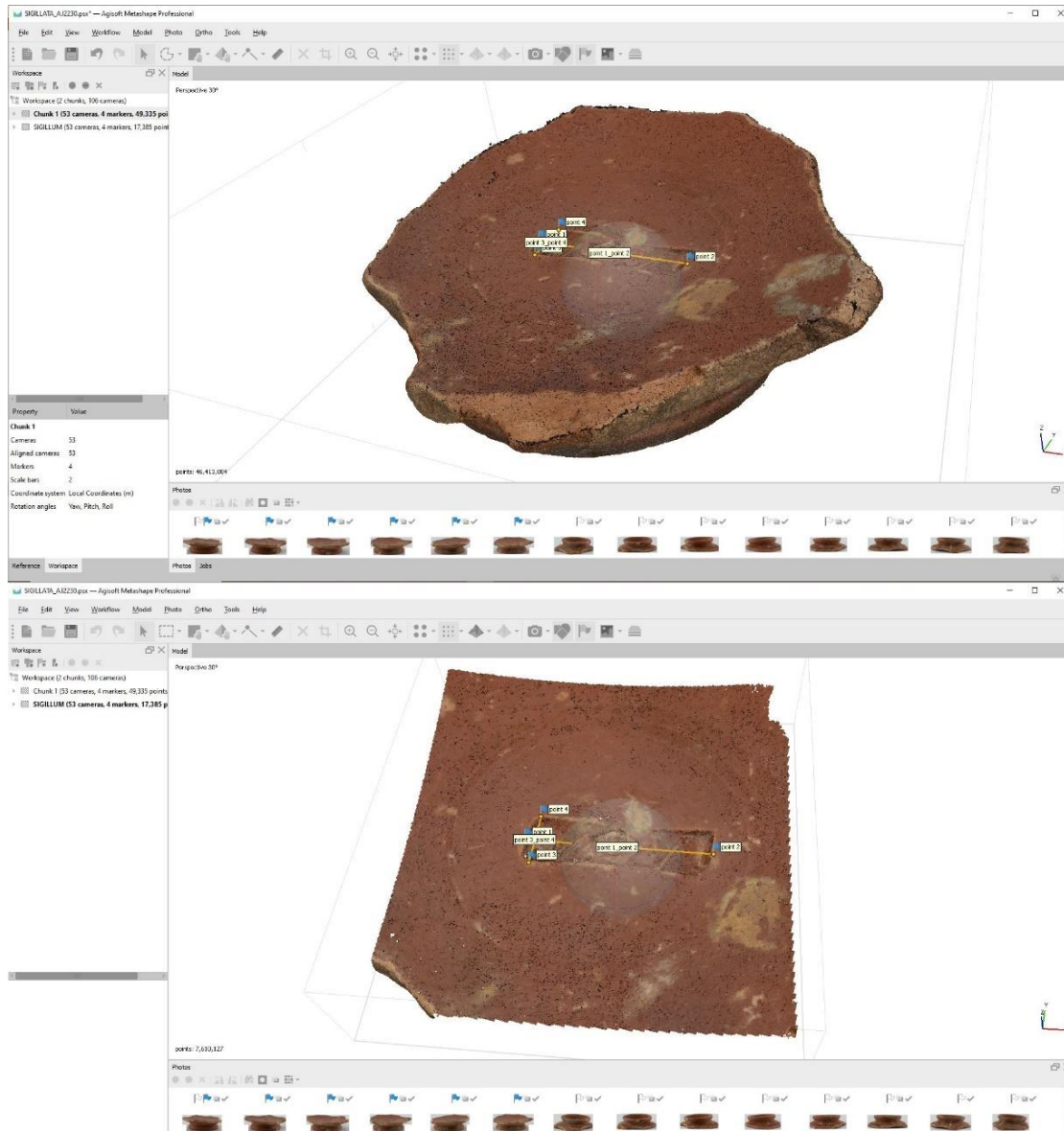


Figura 4.37. Creación de un modelo de alta resolución geométrica a partir de la combinación de dos *chunks* o bloques procesados independientemente en Agisoft Metashape.

Aunque este proceso de fusión implica invertir algo más de tiempo que en la realización de un modelo fotogramétrico normal, da como resultado un material digital mucho más adecuado para los procesos posteriores. Con esto se consigue, entre otras cuestiones, aumentar la definición de un área como la rúbrica. Esta zona, al ser una zona de detalle en una pieza mayor, habría presentado algunas imprecisiones de haber seguido la dinámica habitual de digitalización. En términos generales, y dependiendo de la fisonomía de cada pieza, los modelos fotogramétricos de las *terrae sigillatae* documentadas incluyen entre 60 y 100 fotografías.

A pesar de la minuciosidad con la que se llevó a cabo, tanto la captura fotográfica como la generación del modelo, la mayoría de las piezas presentaban un nivel de desgaste tan alto en sus marcas de entalle que su lectura era prácticamente imposible. Por este motivo, se decidió aplicar, de forma adicional, la técnica de *Reflectance Transformation Imaging* de tipo virtual. De este modo, se obtuvieron modelos de *Polynomial Textures Mappings* (.ptm) de cada una de las *sigillatae* seleccionadas.

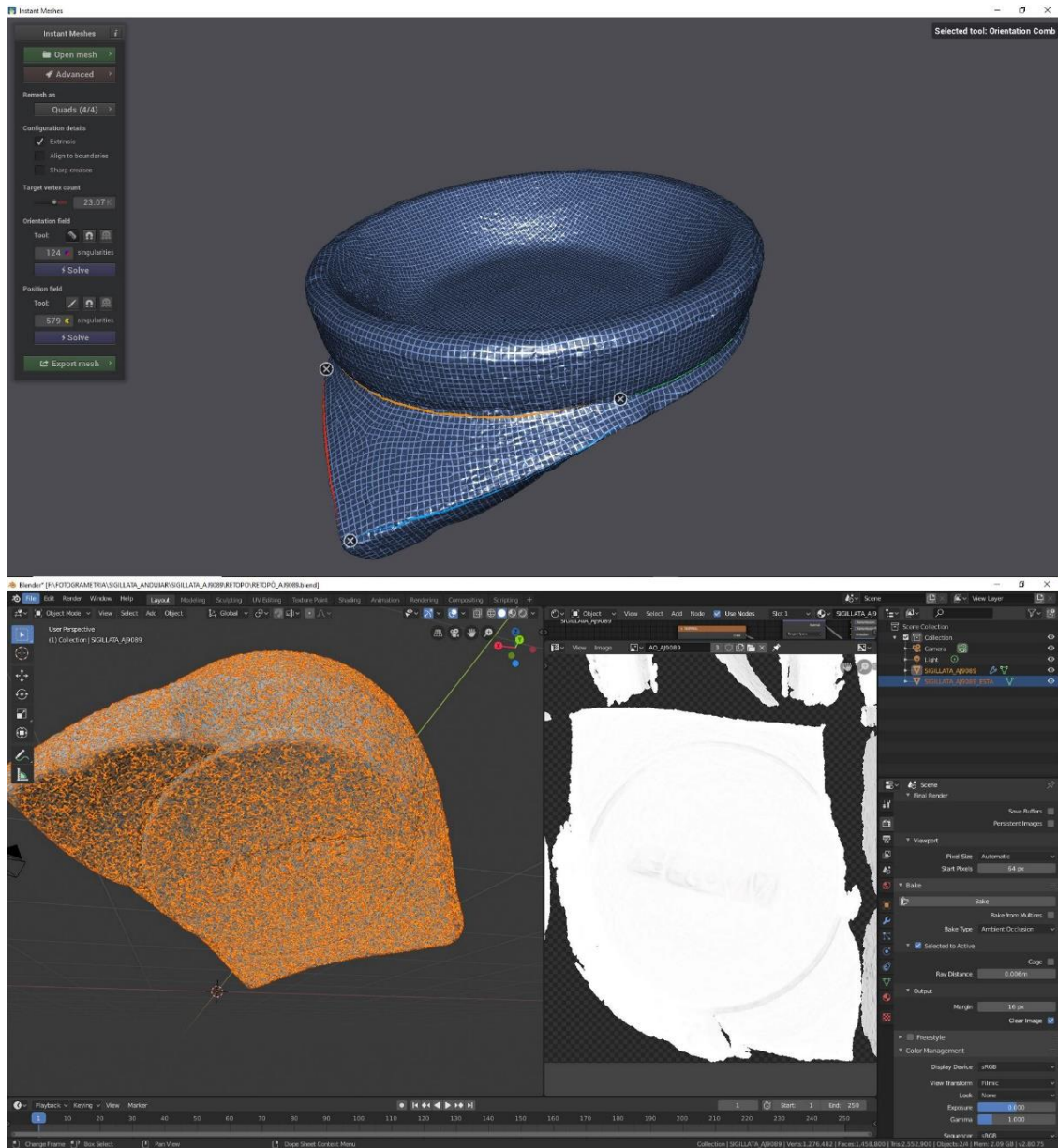


Figura 4.38. Proceso de bakeado realizado sobre una de las *terrae sigillatae* hispánicas recuperadas de Los Villares de Andújar (Jaén, España) para obtener un mapa de Oclusión Ambiental que permita potenciar los detalles del modelo durante el proceso de RTI Virtual. En este caso, la pieza elegida fue el fragmento cerámico que corresponde con las siglas AJ9089.

El primer paso, no obstante, fue la optimización del modelo mediante dinámicas retopológicas (fig. 4.38). El objetivo inicial de estos procesos de optimización era aligerar la carga de trabajo de Blender durante el renderizado automático de los archivos de imagen. Sin embargo, al generar mapas de normales y otro de oclusión ambiental con una resolución de 8192 px, se pudo comprobar que exagerando ambas texturas durante el proceso de *RTI* virtual, tal y como se mostraba en el capítulo 3 (fig. 3.68), era posible obtener una mayor definición de los detalles de la pieza. Esto, sin lugar a dudar, beneficiaba enormemente los resultados del procedimiento de *Reflectance Transformation Imaging* llevado a cabo en Blender.

Junto a los procesos retopológicos, otra forma de reducir la carga del *hardware*, a la par que se mejora la calidad del producto final, es aislar la parte concreta de la rúbrica que se desea analizar (fig. 4.39). Así, se consigue reducir la malla geométrica centrándola solo en aquella zona que realmente interesa. Este procedimiento puede llevarse a cabo mediante cortes virtuales en Blender, en el propio *software* fotogramétrico utilizado para generar el modelo, o bien combinando ambas plataformas si la complejidad de la pieza así lo requiriese.

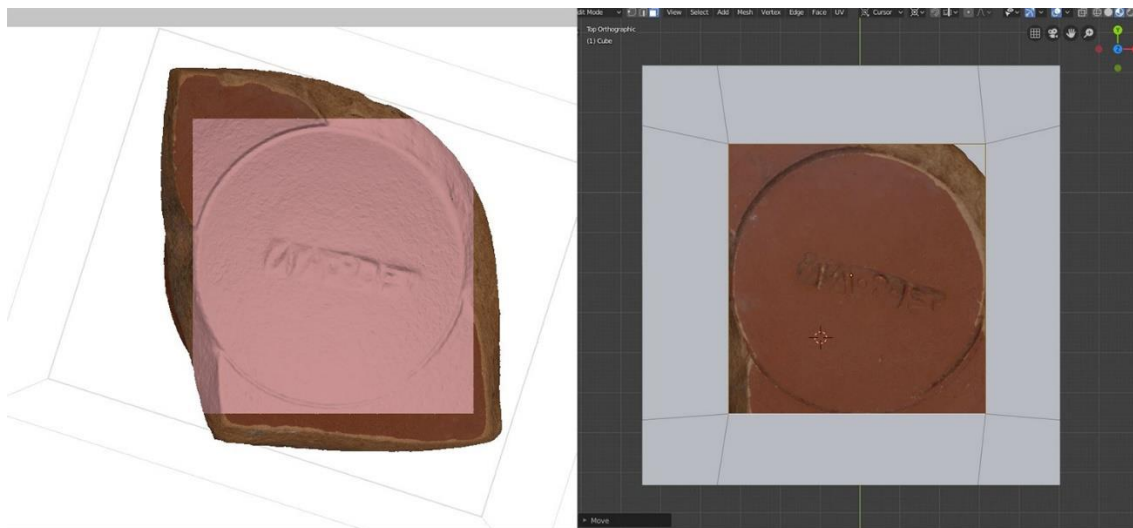


Figura 4.39. Segmentación y aislamiento de la zona de la rúbrica de la *terra sigillata* hispánica AJ9089 donde posteriormente se aplicará el RTI virtual. A la izquierda el proceso llevado a cabo en Agisoft Metashape. A la derecha el mismo proceso llevado a cabo en Blender.

Hecho esto, se procede a la ejecución del algoritmo de automatización que genera las imágenes que, posteriormente, se volcarán en RTIBuilder (RTIBuilder, 2013: en línea)

para generar el modelo de re-iluminación interactivo. Este proceso se ejecuta de forma sistemática sobre cada una de las piezas, indiferentemente del grado de deterioro de sus rúbricas.

Gracias a la aplicación de estos modelos interactivos, donde puede modificarse manualmente el grado de incidencia de la luz, resulta mucho más sencillo identificar los motivos epigráficos y de cada una de las *terrae sigillatae* isturgitanas.

De forma adicional se generó, sobre cada uno de los modelos fotogramétricos, un Mapa Digital de Elevaciones o DEM. Esta otra forma de análisis, descrita más en profundidad en el capítulo tres, permite resaltar también los detalles de la zona de la rúbrica. El resultado final que se obtiene con esta otra técnica implica dos diferencias reseñables en comparación a un modelo virtual de *Reflectance Transformation Imaging*. En primer lugar, se trata de una representación bidimensional, estática y que, por tanto, encuentra más limitaciones en cuanto a su posterior manipulación. En segundo lugar, no obstante, su aplicación resulta considerablemente más sencilla y rápida. Una vez creado y escalado el modelo fotogramétrico, solo se requieren de unos segundos para obtener este mapa de elevaciones. A pesar de su celeridad, el resultado final es más que satisfactorio. Usando toda esta documentación gráfica como base, resulta mucho más simple reconstruir los sellos con los que se estampaba la rúbrica en cada una de las piezas.

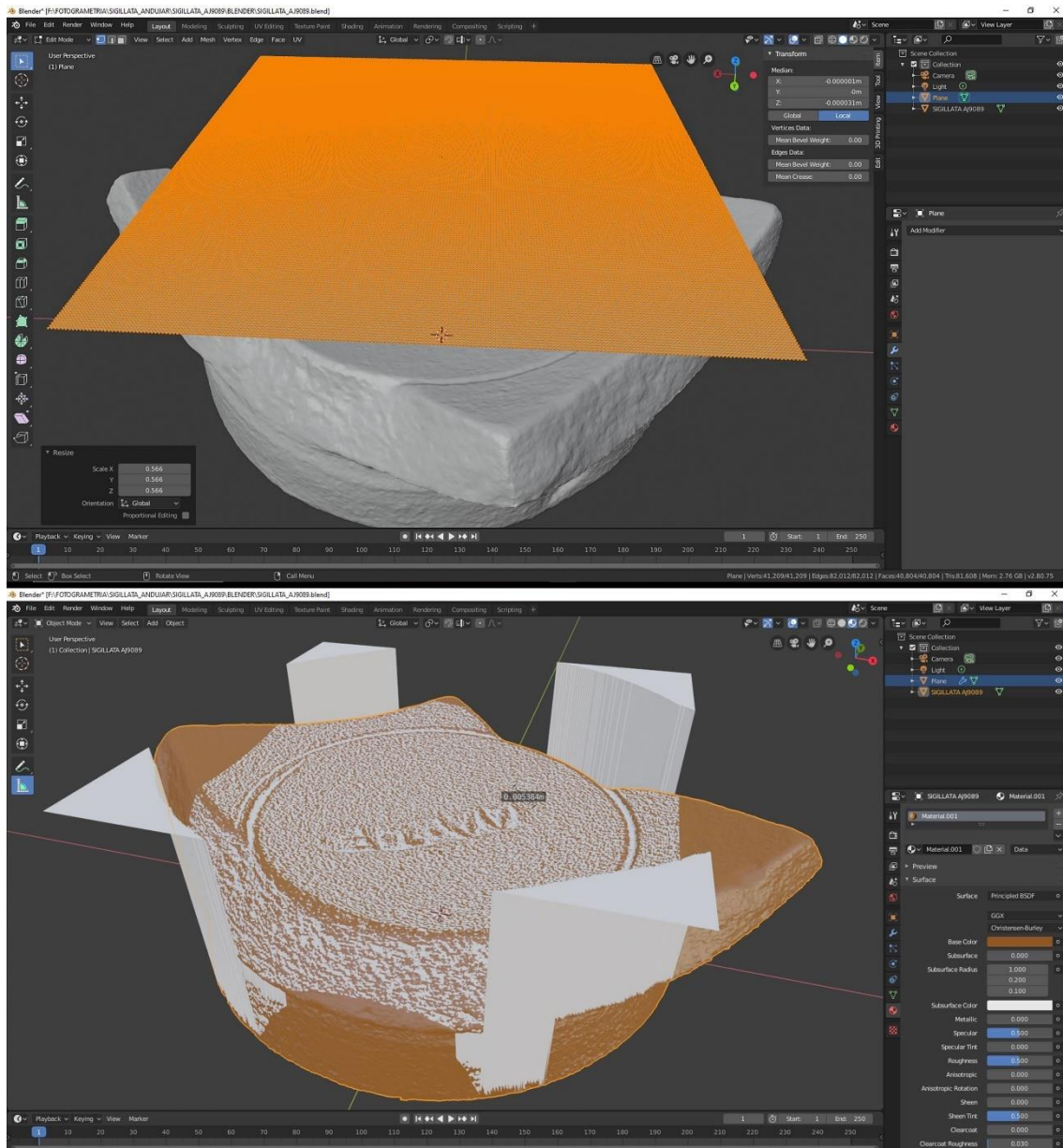


Figura 4.40. 4.40. Aplicación de la herramienta shrinkwrap y adhesión del calco digital sobre la rúbrica de la *terra sigillata* AJ9089.

En este momento comienza la segunda parte del proceso. Una vez importado a Blender el modelo fotogramétrico de las *terrae sigillatae* es necesario crear un plano digital que haya sido previamente subdividido hasta alcanzar una resolución suficiente. Una vez hecho esto, simplemente se ha de elegir la zona de la que se quiere obtener el calco geométrico. En este caso, el área que ocupa la rúbrica. Se coloca entonces el plano sobre ella y aplicamos el modificador “*shrinkwrap*”. Esta herramienta interna de Blender pegará de forma digital el plano sobre la rúbrica (figs. 4.40 y 4.41). El resultado es una

malla geométrica digital, en negativo y perfectamente exacta, de la marca de alfarero presente en la pieza. Obviamente la pieza está aún incompleta, pues solo tenemos la parte inferior del sello, la zona que generaba la impronta en la pieza de arcilla aún sin cocer.

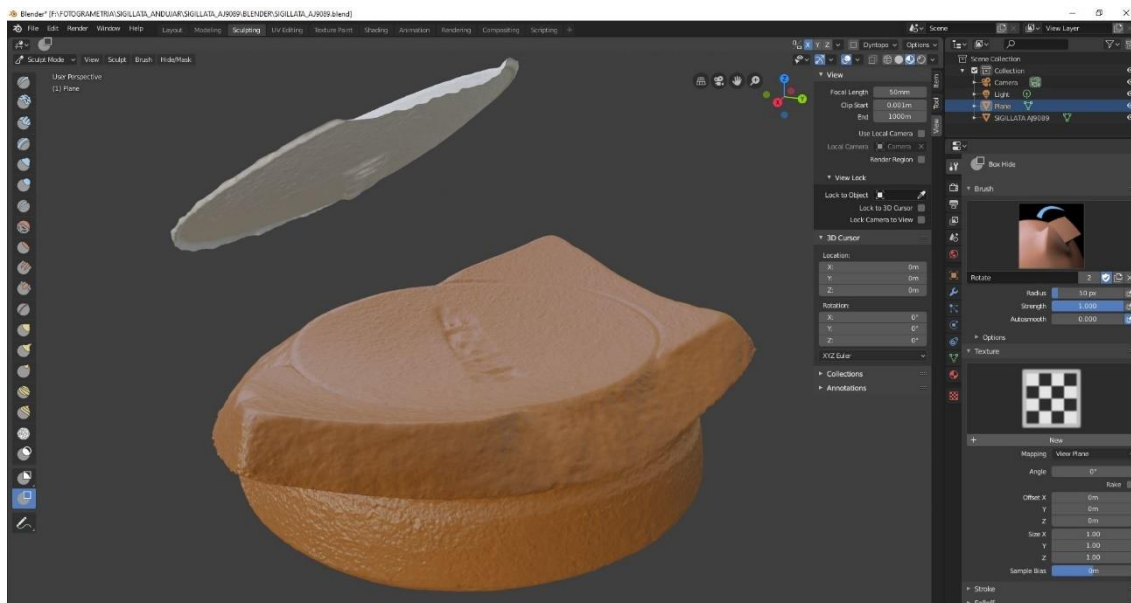


Figura 4.41. Calco ya procesado donde puede observarse la impronta de la *terra sigillata* en positivo (en color blanco), junto a la muesca dejada sobre el modelo original (color marrón).

Posteriormente y gracias a una minuciosa consulta bibliográfica, se completó el resto de la pieza. Para ello se empleó como base los modelos de punzones epigráficos ya esbozados por Hofmann (1971: 5 y fig. 4.35) o algunos paralelos arqueológicos de anillos de entalle anepigráficos recogidos por Nova Barrero (2018: 12-20).

De esta forma se desarrollaron diferentes hipótesis reconstructivas de cómo podría haber sido la base, el mango o, en definitiva, la herramienta con la que se imprimía la rúbrica sobre la pieza de *sigillata* original. A este respecto, y dado que no se ha recuperado ninguno de estos instrumentos de entalle en el yacimiento de Los Villares de Andújar, es imposible discernir cuál era la forma real que tendría el empuñamiento de los sellos empleados en este complejo alfarero. Por ello, salvo la parte de la rúbrica propiamente dicha (fig. 4.42), el resto corresponde a una propuesta desarrollada *ad hoc* para esta tesis, “basada en inferencias científicamente razonables” y con diferente

grado de evidencia (fig. 4.42) que pretenden esclarecer la forma y el uso específico de este tipo de herramientas.

El último paso del flujo de trabajo, una vez reconstruidos digitalmente los punzones, consistió en la preparación de los modelos 3D de estos para su posterior impresión 3D en ácido poliláctico (PLA). Para ello se empleó el *software* de laminado Ultimaker Cura (Braam, 2017: en línea).



Figura 4.42. Diferentes grados de evidencia histórico-arqueológica (Aparicio Y Figueiredo, 2016: 239) de la recreación digital del punzón con el que se rubricó la pieza de *terra sigillata* hispánica AJ9089, procedente de Los Villares de Andújar.

4.4.2 Resultados

Los resultados obtenidos se desglosan a continuación pieza por pieza. Conviene aclarar que, por motivos de registro y para mantener una coherencia de formato a lo largo de la exposición de los resultados, las piezas han sido ordenadas y numeradas de forma correlativa usando un sistema diferente a su siglado original. No obstante, se incluye entre paréntesis, y en caso de tenerlo, su número de sigla original. Asimismo, aquellas piezas que no poseían ningún tipo de signature, o resultaba difícil su lectura, se identificaron con las siglas S/N y el número correlativo en que digitalizaron dentro de ese conjunto.

Del mismo modo y con el fin de aportar la mayor transparencia posible a todo el proceso de captura, registro y postprocesado, se decidió crear tanto una ficha como un reporte exhaustivo de cada uno de los modelos tridimensionales. En estos documentos que han sido pertinentemente incluidos en el apartado de anexos (Anexos 8.2.2), se pueden consultar aquellos datos más técnicos.

- PIEZA 25 (14)

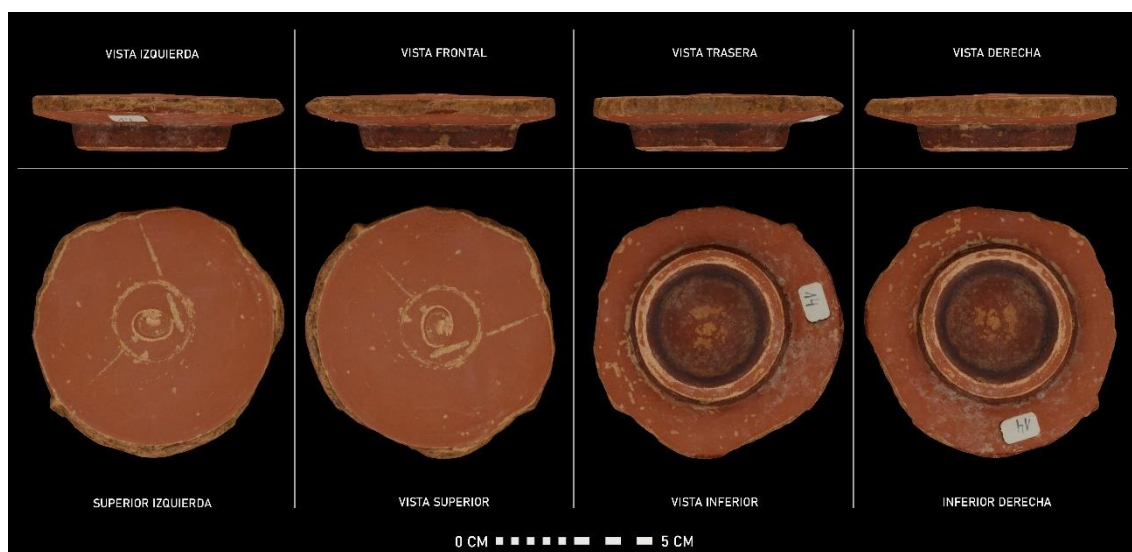


Figura 4.43. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 25 (AJ14). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/0ebe403277b641da89bcf6552d594cec> [última visita: 26/10/19].

La pieza N° 25 corresponde a un fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar etiquetada originalmente con el número 14 (fig. 4.43).

Afortunadamente, la zona conservada, aunque muy deteriorada, corresponde al fondo interno de un recipiente liso, donde aún se conserva el trazo del entalle (fig. 4.43). Es por ello que se convertía en un caso interesante sobre el que aplicar técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM (figs. 4.44 y 4.45). En este caso, la rúbrica era anepígrafa y en ella se aprecia una posible figura masculina que porta en cada mano un objeto difícil de precisar dado la mala conservación del entalle. A la izquierda sobre una especie de pedestal se halla una pequeña figura que parece

extender los brazos portando un objeto quizá un arco. La figura masculina recuerda las representaciones de Mercurio con petaso, marsupio y clámide aunque no se puede afirmar su adscripción (Fernández-García y Serrano, 2013: 99 y fig. 7.9). Este tipo de rúbricas anepigráficas hacen referencia a *officinae* de la tercera generación de alfareros de *Isturgi* (Fernández-García, 1998: 96; Fernández-García, 2004: 265; Fernández-García, 2013: 315; Fernández-García y Serrano, 2013; Serrano, 2016: 15-650), y se constatan, hasta el presente, sobre las formas 15/17 y 46 (Sotomayor, 1988). Por otro lado, tal y como se ha documentado, el punzón empleado para el entalle de estas marcas parece haber tenido la forma de un anillo (fig. 4.46) con algún tipo de gema o pasta vítrea tallada en negativo y con el motivo de la rúbrica (Barrero, 2018: 13-19) .

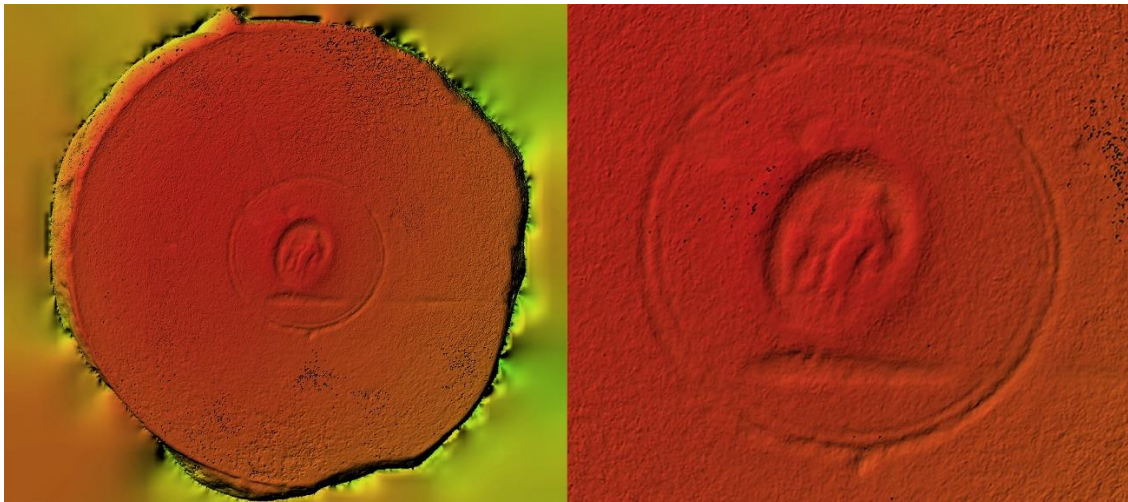


Figura 4.44. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 25 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

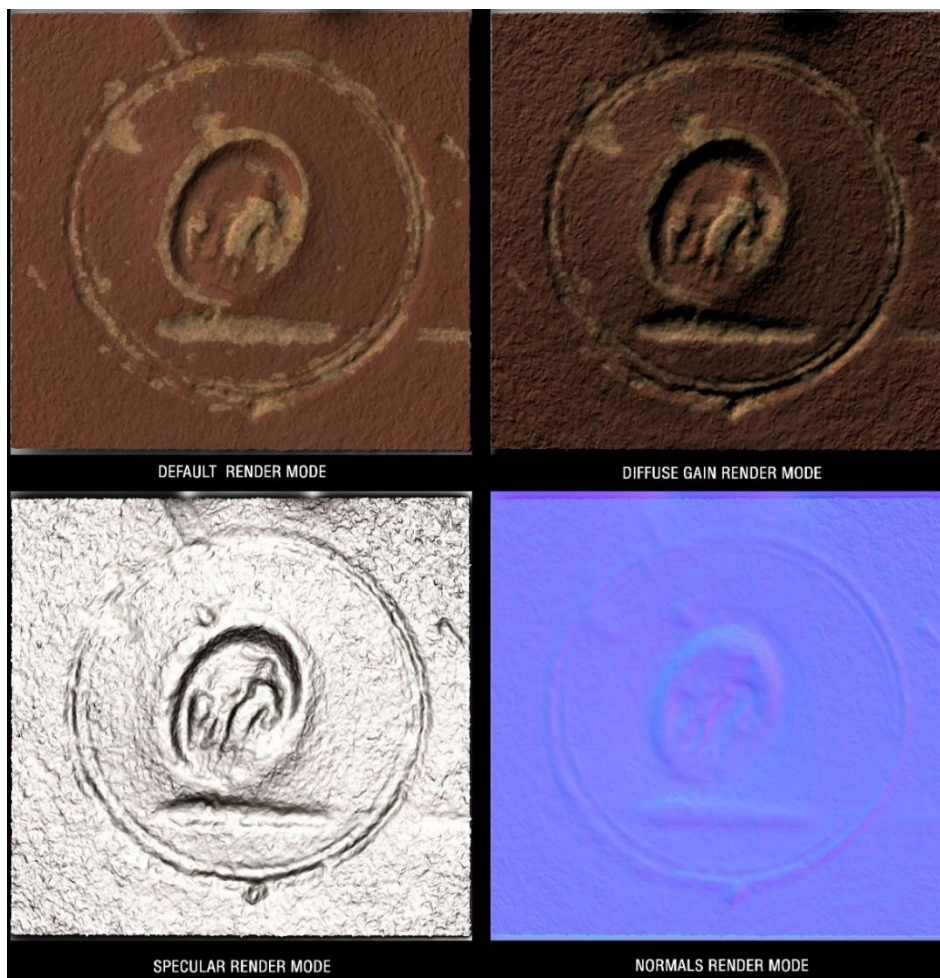


Figura 4.45. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 25 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software*.

Con toda esta documentación gráfica como apoyo, y mediante el *software* de modelado y diseño 3D Blender, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza Nº 25 (fig. 4.46). Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.47) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.

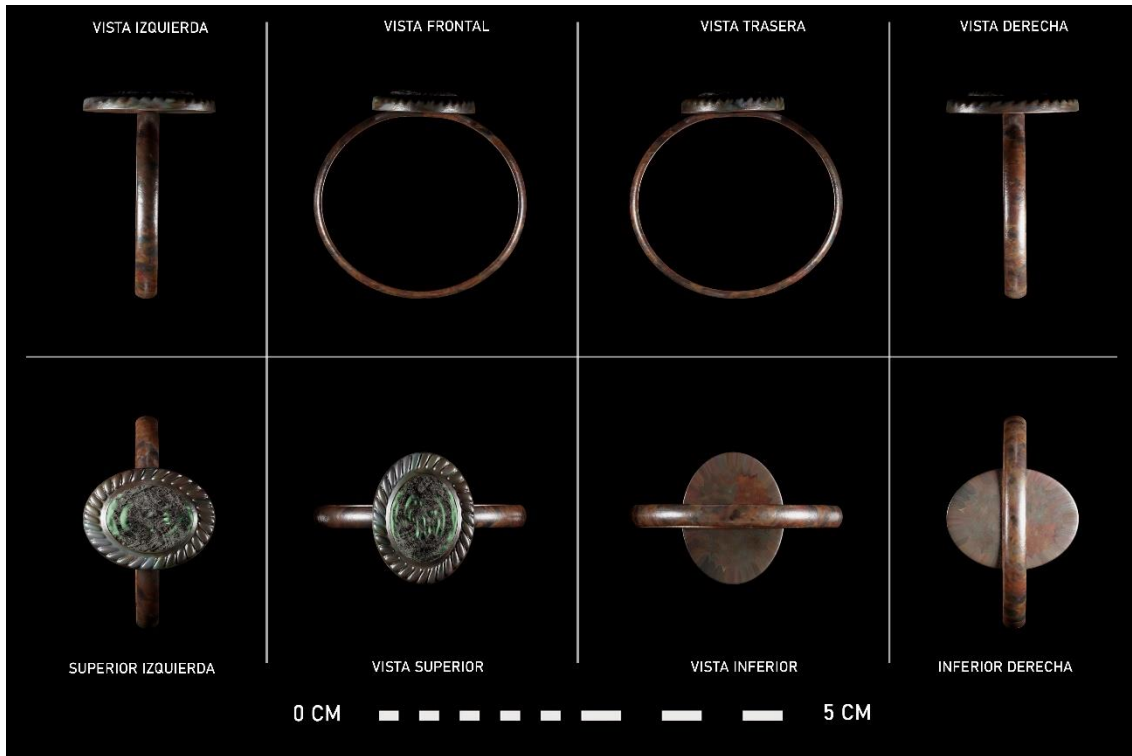


Figura 4.46. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 25 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

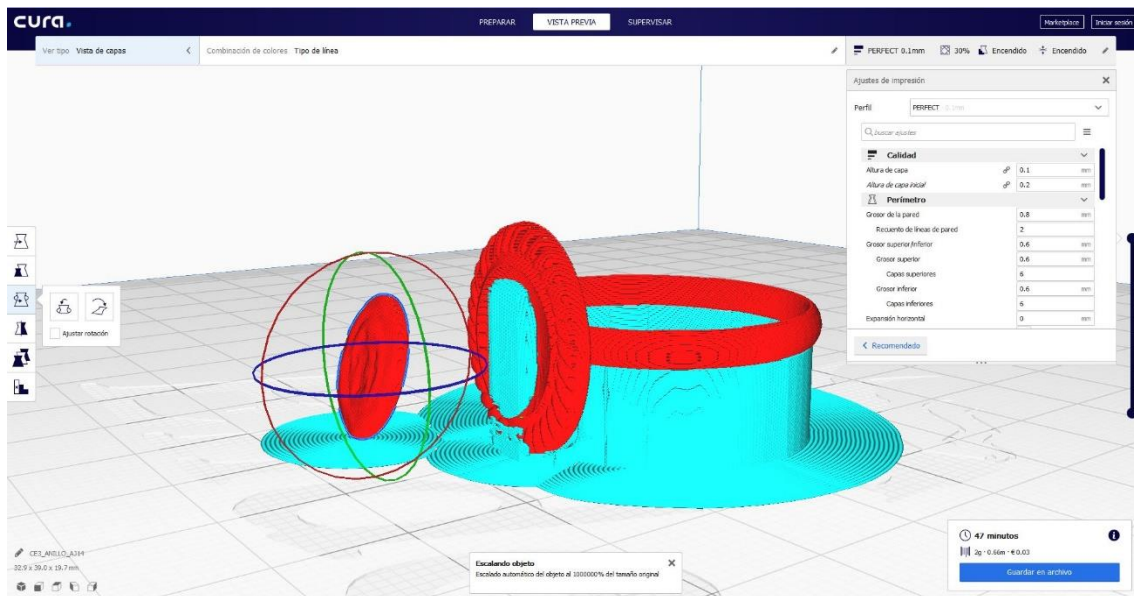


Figura 4.47. Segmentación del modelo tridimensional del punzón anillo obtenido a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* Nº 25 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 26 (641)



Figura 4.48. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 26 (AJ641). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/44ff7b7818914193b44aa0901e3826a4> [última visita: 26/10/19].

La pieza N° 26 hace igualmente referencia al modelo tridimensional realizado sobre un fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar etiquetada originalmente con el número 641 (fig. 4.48).

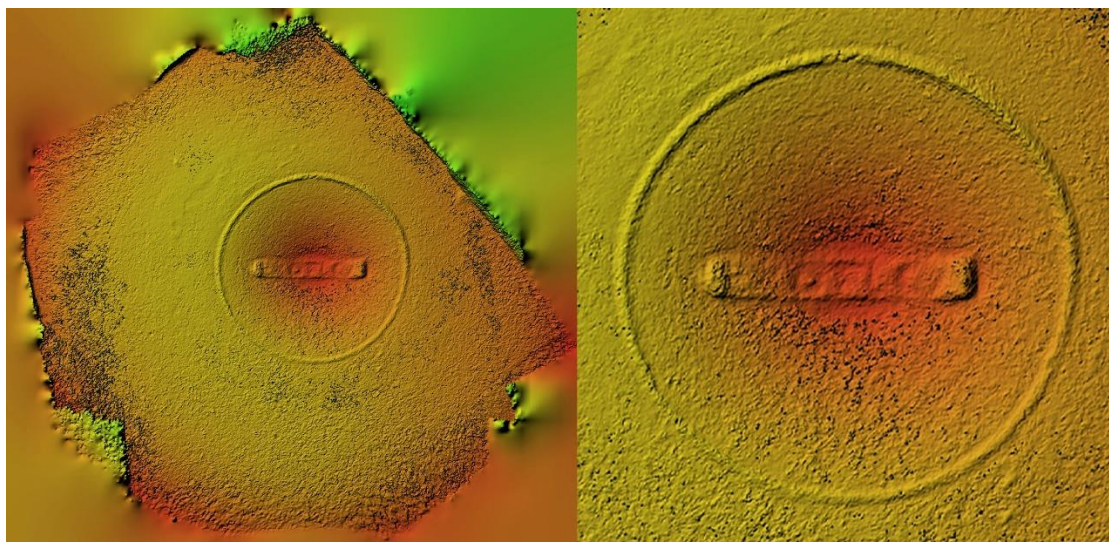


Figura 4.49. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 26 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

Del mismo modo, la zona conservada es la parte de la base de un recipiente liso, donde aún se conserva el trazo del *sigillum*. Es por ello que se convertía en un caso interesante sobre el que aplicar técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM (figs. 4.49 y 4.50). En este caso, la rúbrica era epigráfica y parecen leerse las iniciales *EXOFLCA*, en referencia a la *officina LCA*, productora de ejemplares de formas lisas 15/17 y 27 (Sotomayor *et al.*, 1999: 40; Fernández-García, 2004: 260; Fernández-García, 2013 b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 96).

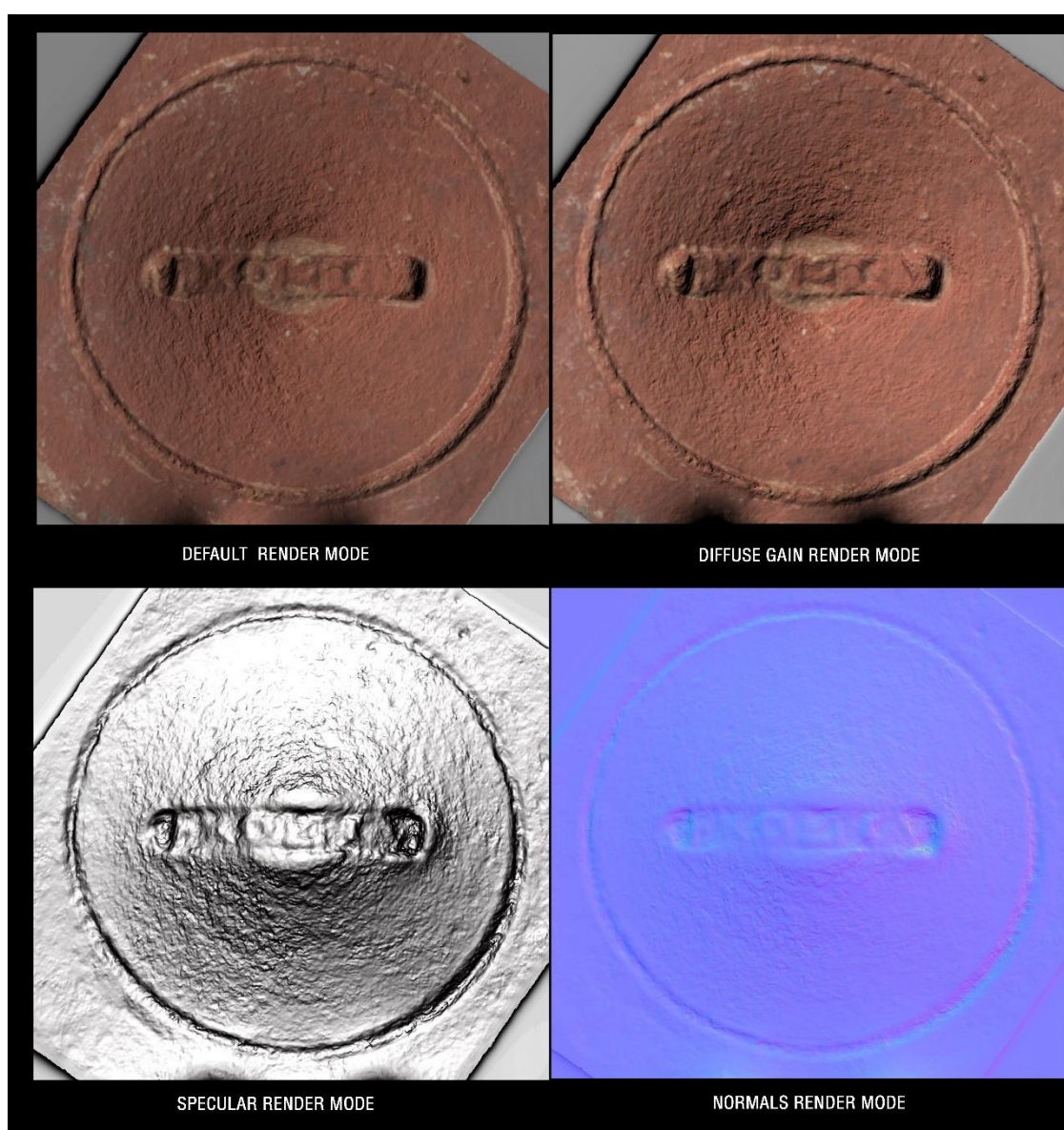


Figura 4.50. Montaje con las capturas obtenidas en RTIViewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 26 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los

Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Con toda esta documentación gráfica como apoyo, y mediante el *software* de modelado y diseño 3D Blender, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza Nº 26 (fig. 4.51). Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.52) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales

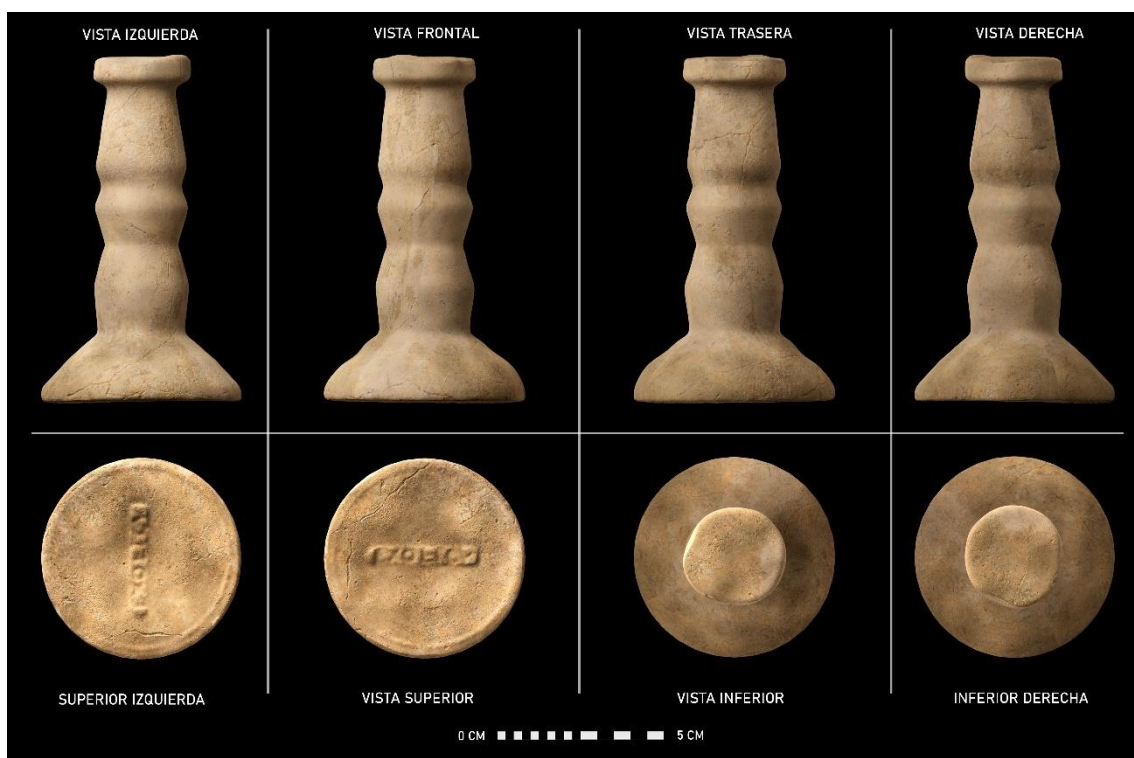


Figura 4.51. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 26 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

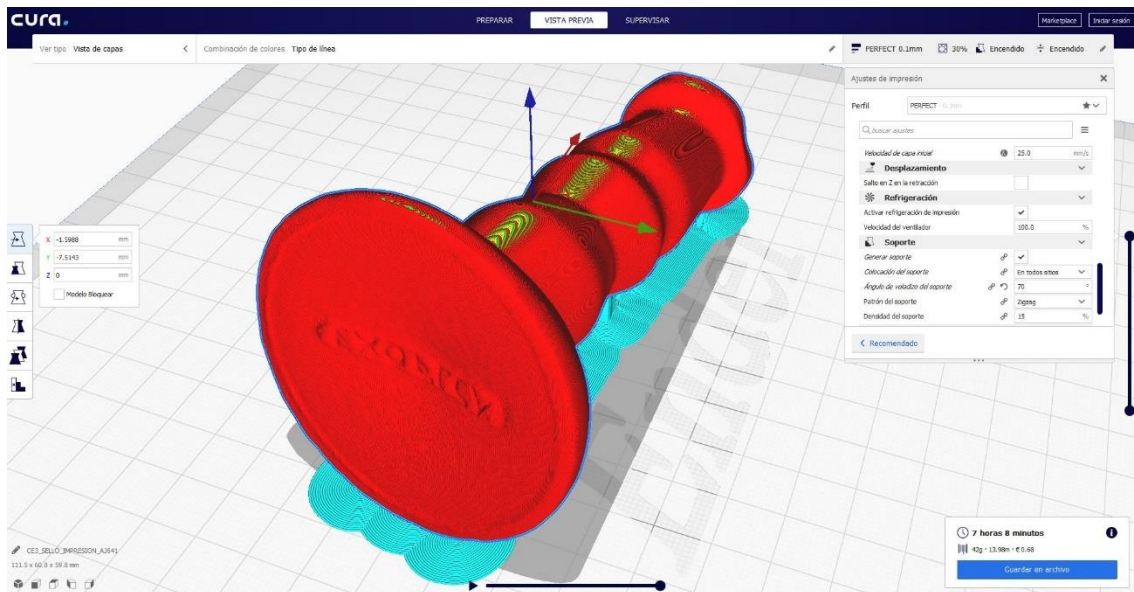


Figura 4.52. Segmentación del modelo tridimensional del punzón obtenido a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N° 26 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Crea3 Ender 3 pro.

- PIEZA 27 (AJ181)



Figura 4.53. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 27 (AJ181). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/f0f34d989d014263831e6bef4593eccd> [última visita: 26/10/19].

La pieza Nº 27 hace referencia al modelo tridimensional realizado sobre un fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar y registrado originalmente como AJ181 (fig. 4.53).

Afortunadamente, la zona conservada, aunque muy deteriorada, corresponde al fondo interno de un recipiente liso, donde aún se conserva la marca de entalle. Es por ello que se convertía en un caso interesante sobre el que aplicar técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM (figs. 4.54 y 4.55). En este caso, la rúbrica era anepígrafa y en ella se aprecia lo que parece ser una *triga* cuyo auriga que porta, a su vez, una suerte de fusta. No obstante, no parece encajar con los entalles anepigráficos documentados hasta el momento, donde se sostiene que el carro de caballos es una *cuadriga* (Fernández-García y Serrano, 2013: 99; Serrano, 2016: 15-650). La aplicación del sello parece no haber sido muy limpia pues se aprecia un trazado de la forma bastante irregular y corrido. Como ocurría con la pieza Nº 25, este tipo de rúbricas anepigráficas hacen referencia a *officinae* de la tercera generación de alfareros de *Isturgi* (Fernández y Serrano, 2013; Serrano, 2016: 15-650), los cuales parecen haber centrado su producción en las formas 15/17 y 46. Al igual que con la pieza 25, se presupone que el punzón empleado para el entalle de estas marcas parece haber tenido la forma de una anillo con algún tipo de gema o pasta vítrea tallada en negativo y con el motivo de la rúbrica (Barrero, 2018: 13-19) .

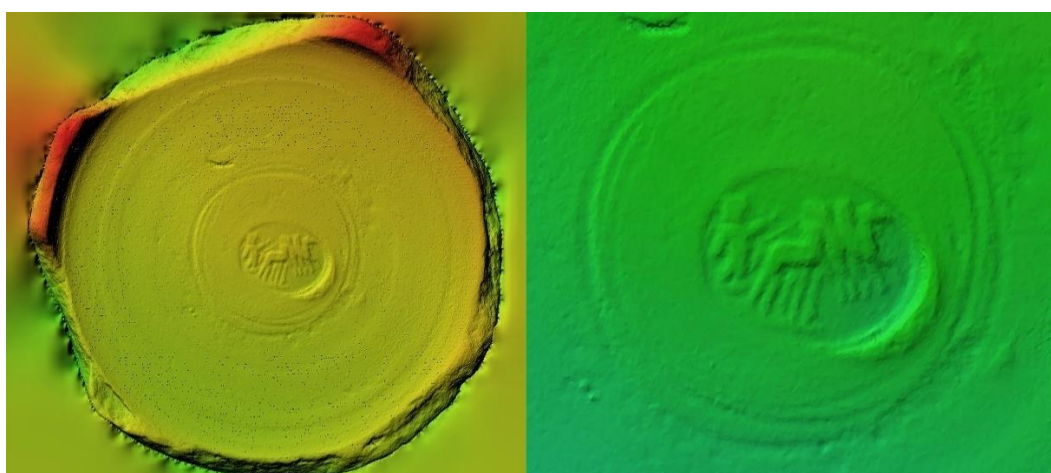


Figura 4.54. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 27 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

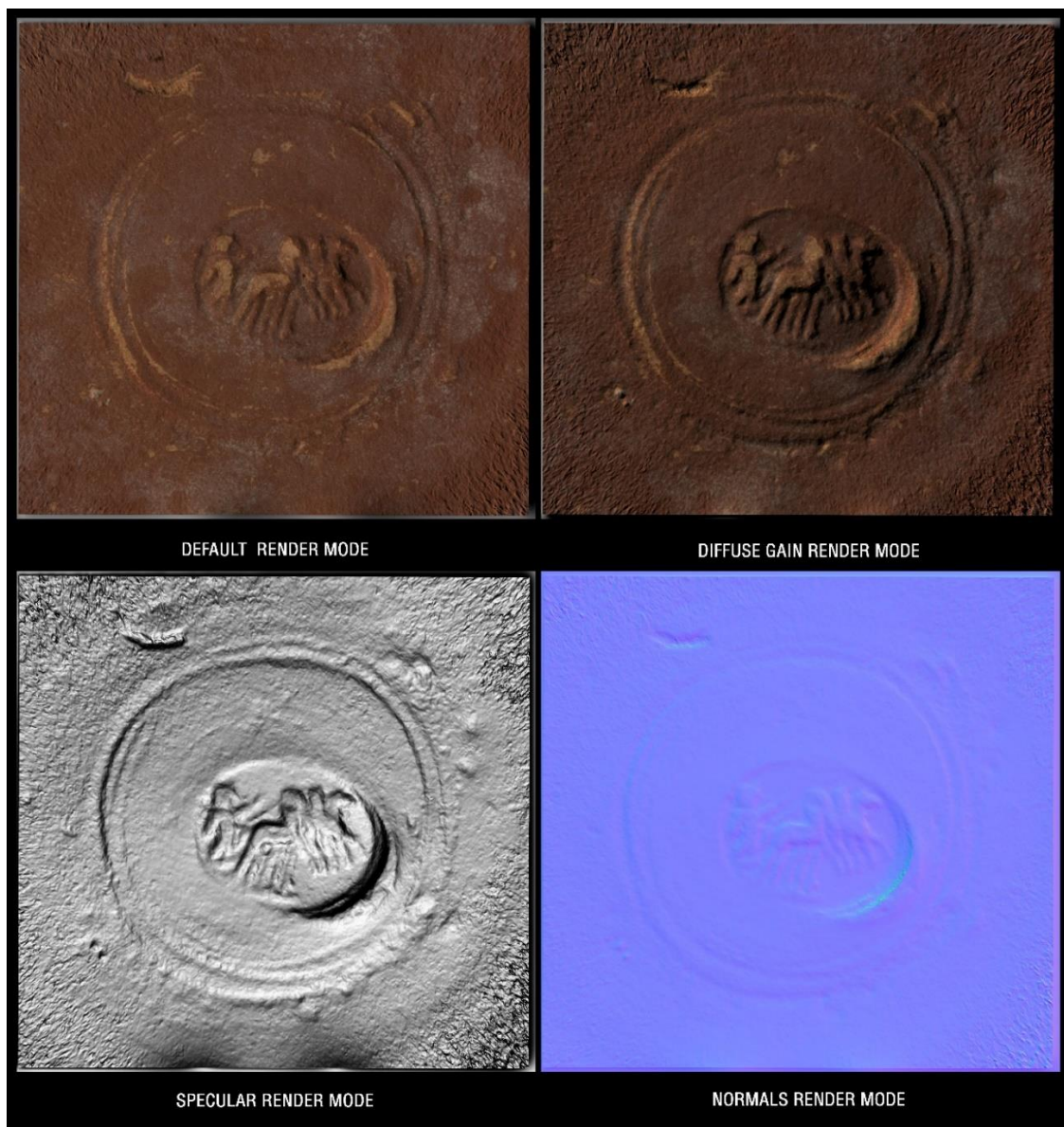


Figura 4.55. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 27 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Con toda esta documentación gráfica como apoyo, y mediante el *software* de modelado y diseño 3D Blender, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza Nº 27 (figs. 4.56 y 4.57). Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un

modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.58) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.

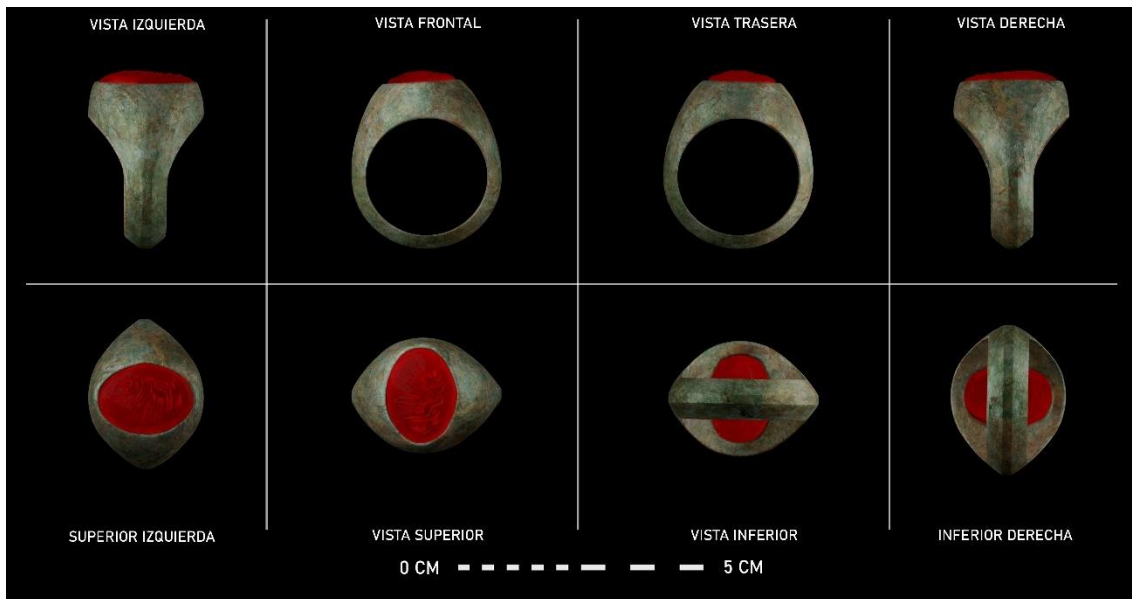


Figura 4.56. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 27 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).



Figura 4.57. Recreación y montaje compositivo del punzón y la marca de entalle dispuestos sobre la pieza de *terra sigillata* hispánica N° 27.

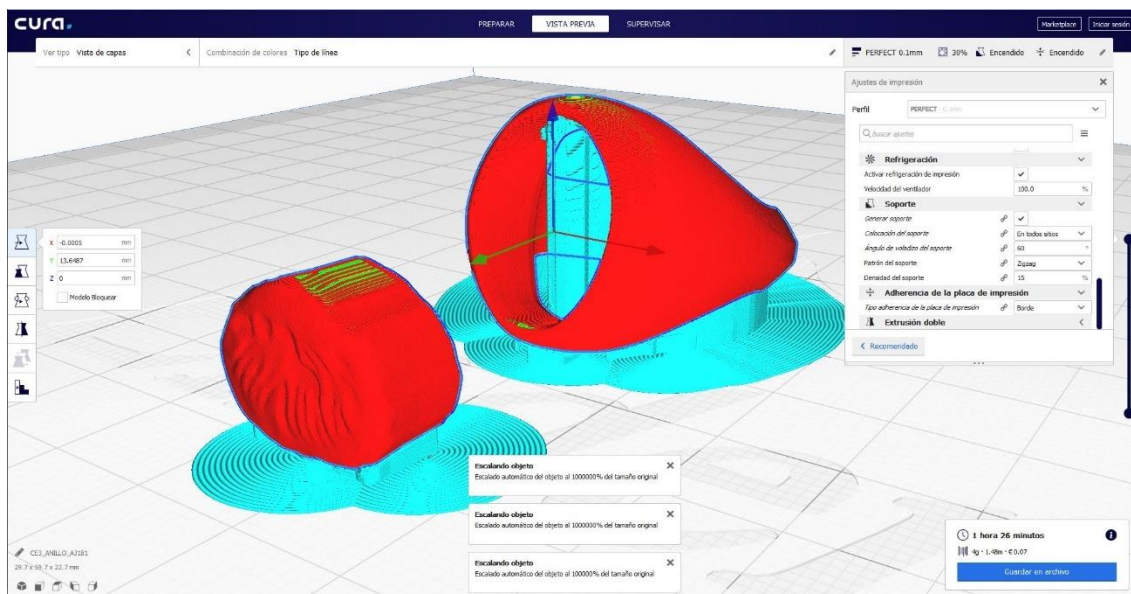


Figura 4.58. Segmentación del modelo tridimensional del punzón en forma de anillo recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N^o 27 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 28 (AJ2230)



Figura 4.59. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N^o 28 (AJ2230). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/9dafcb8c1cbd4ae7852c198775c954f9> [última visita: 26/10/19].

La pieza N^o 28 se obtuvo a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de

Andújar. La sigla original de la pieza es AJ2230 (fig. 4.59). Concretamente, se trata del fondo interno de uno de estos recipientes lisos donde, a pesar del grado de deterioro, aún se conserva el trazo del *sigillum*. Es por ello que se convertía en un caso interesante sobre el que aplicar técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM. En este caso, y tras aplicar las diferentes técnicas (figs. 4.60 y 4.61), pudimos apreciar que la rúbrica, en este caso epigráfica, alude a las iniciales *M.S.M.*, en clara referencia a la *officina* de primera generación *M.S.M.*, productora de formas lisas 8, 15/17 y 27, así como formas decoradas 29, 37, Aj.1 (Fernández-García, 1988: 246-286; Fernández-García, 1998: 81-86; Fernández-García, 2004: 256-257; Fernández-García, 2013b: 313-314; Fernández-García *et al.*, 2007; Fernández-García y Moreno, 2013: 199-200; Fernández-García y Serrano, 2013: 93).

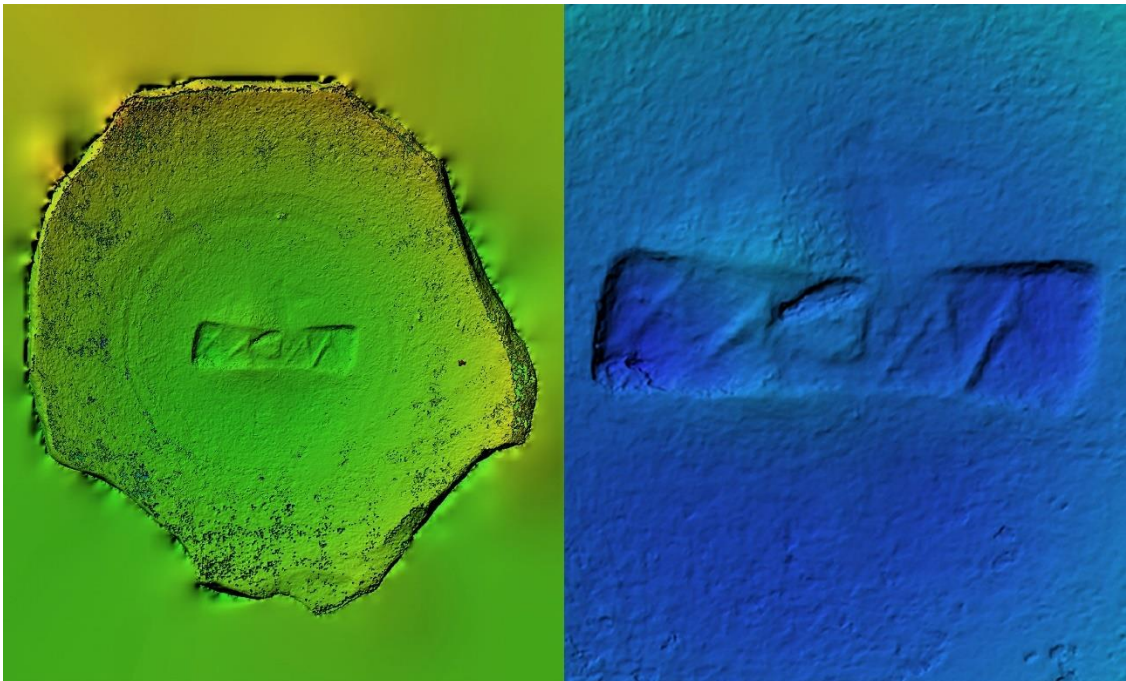


Figura 4.60. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 28 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

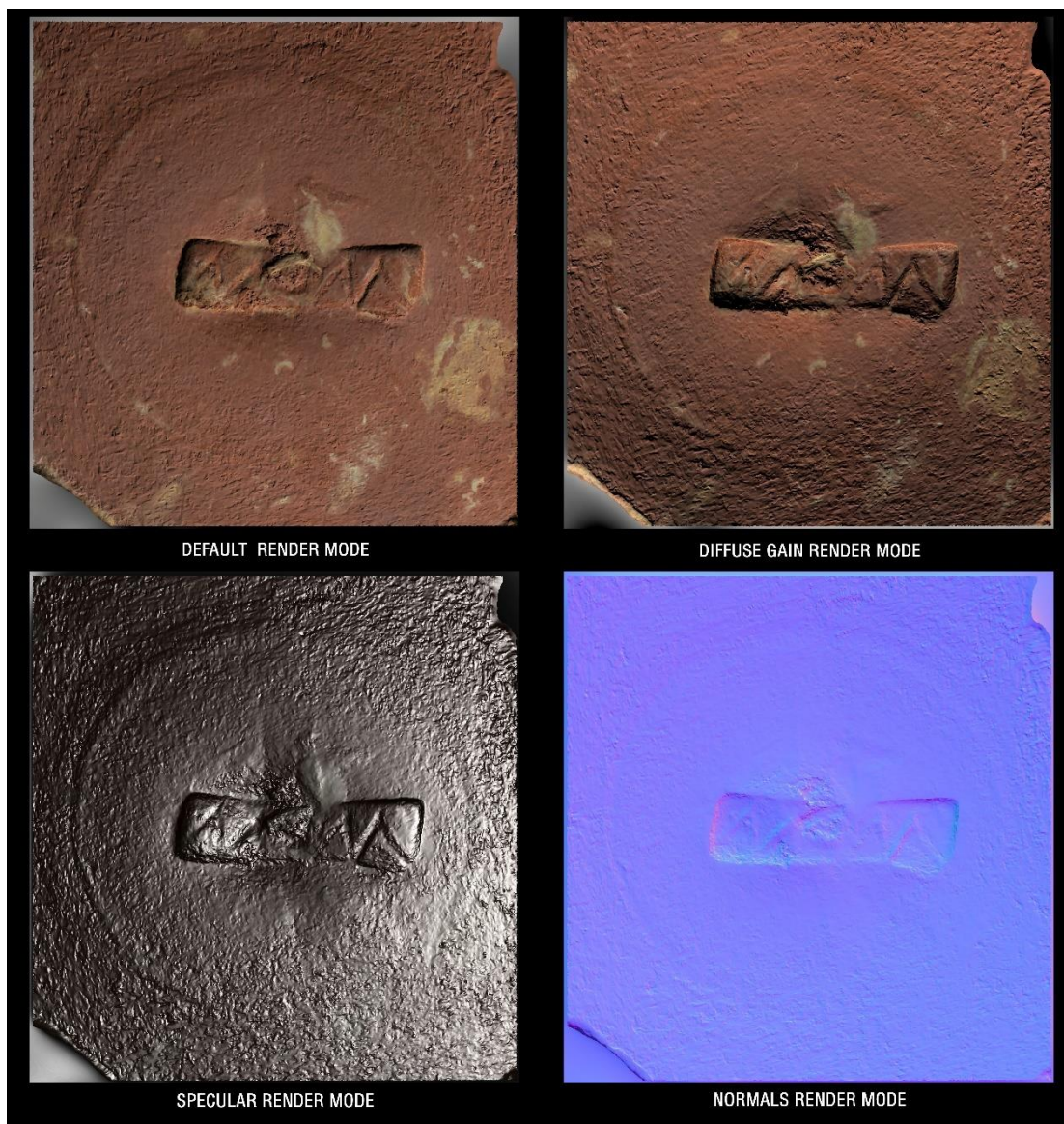


Figura 4.61. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 28 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Con toda esta documentación gráfica como apoyo, y mediante el *software* de modelado y diseño 3D Blender, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza Nº 28 (fig. 4.62). Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado

en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.63) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.



Figura 4.62. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón cerámico empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N^o 28 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

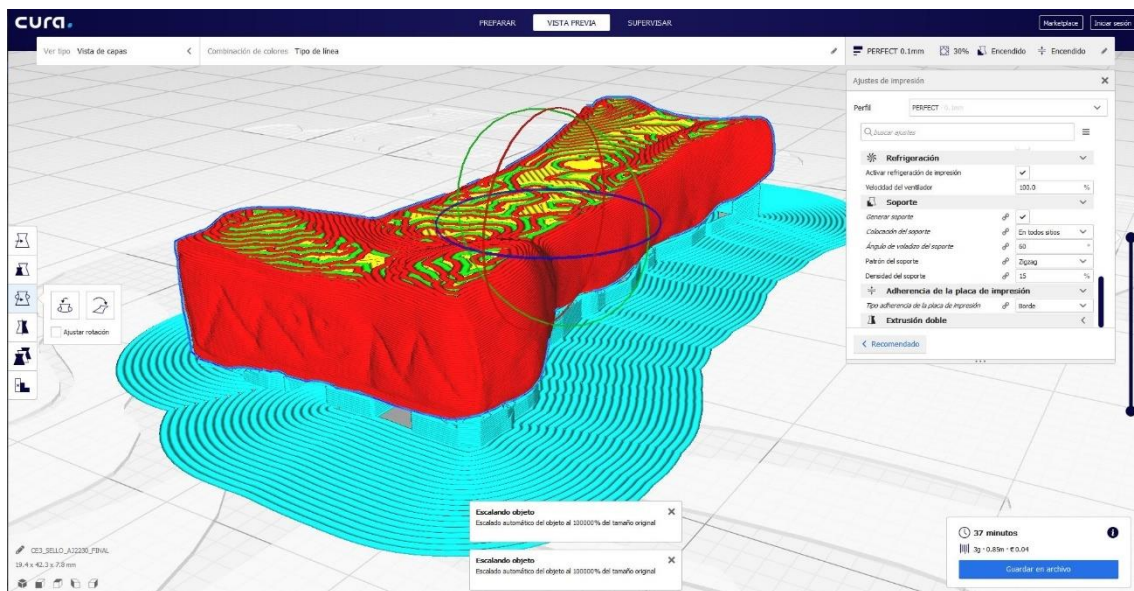


Figura 4.63. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N^o 28 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 29 (AJ2426)

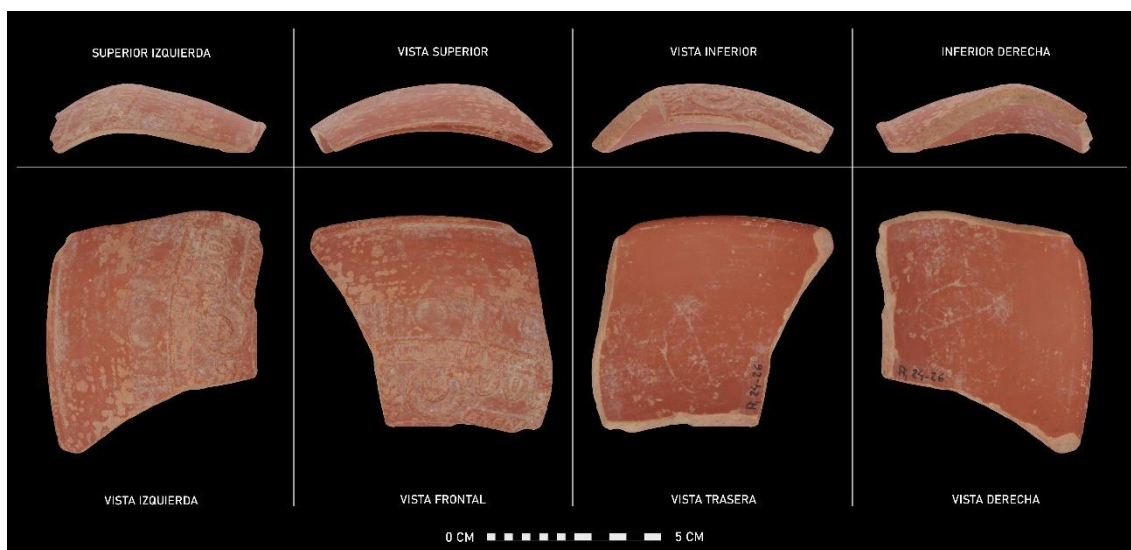


Figura 4.64. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 29 (AJ2426). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/6644363efe8243e6b0e35a843d9f5608> [última visita: 26/10/19].

La pieza N° 29 se obtuvo, igualmente, a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar (Fernández y Moreno, 2013: 197 y fig 3,5). La pieza estaba siglada originalmente como AJ2426 (fig. 4.64). En este caso, se trata de la parte de la zona de la pared de un recipiente decorado donde se conserva el trazo del *sigillum* del maestro alfarero. Es por ello que se convertía en un caso interesante, y diferente, sobre el que aplicar técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM. En este caso, y tras aplicar las diferentes técnicas pudo apreciarse que la rúbrica, en este caso epigráfica, alude a las iniciales *MSM*, una *officina* de la primera generación del alfareros *M.S.M* centrada en la producción de formas lisas 8, 15/17 y 27, así como formas decoradas 29, 37, Aj.1 (Fernández-García, 1988: 246-286; Fernández-García, 1998: 81-86; Fernández-García, 2004: 256-257; Fernández-García, 2013b: 313-314; Fernández-García *et al.*, 2007; Fernández-García y Moreno, 2013: 199-200; Fernández-García y Serrano, 2013: 93).

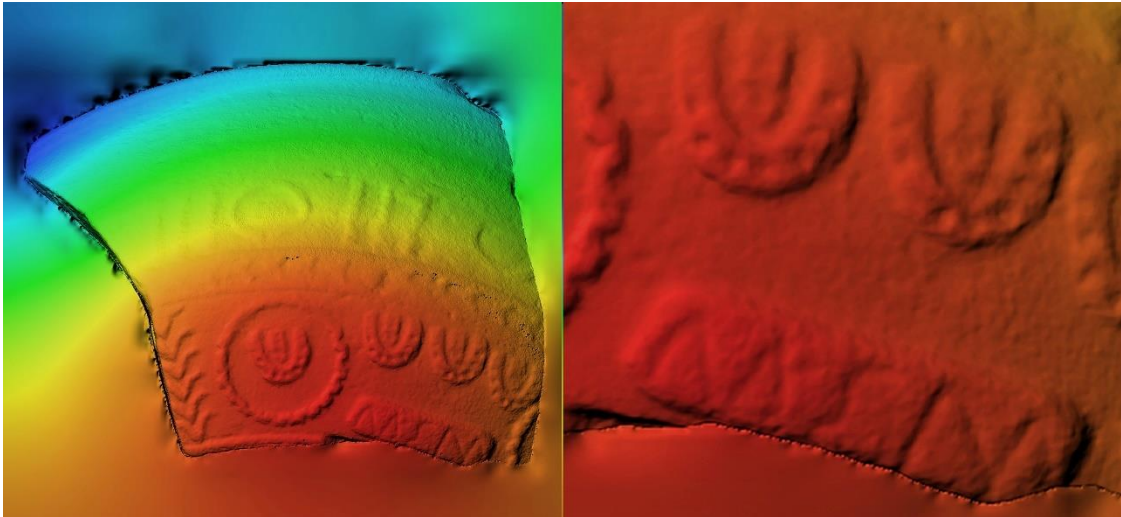


Figura 4.65. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 29 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

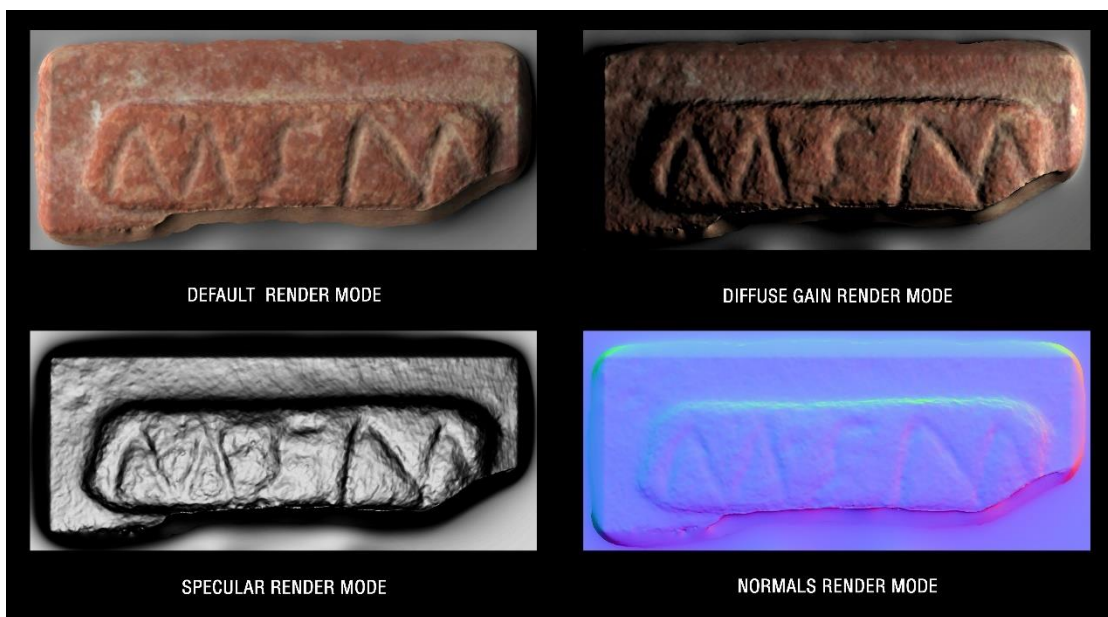


Figura 4.66. Montaje con las capturas obtenidas en RTIViewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 29 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

En este caso, y dado que la impresión de la rúbrica se había llevado a cabo a través de un molde completo y de forma conjunta con el resto de la decoración de la pieza de *terra sigillata* decorada, se decidió no llevar a cabo ninguna hipótesis reconstructiva. Por tanto, tampoco se llevó a cabo un modelo tridimensional compatible con dispositivos

de impresión 3D, limitando los trabajos sobre esta pieza a la digitalización fotogramétrica y el análisis mediante *Reflectance Transformation Imaging* y modelos digitales de elevaciones (figs. 4.65 y 4.66).

- PIEZA 30 (AJ2426_2)

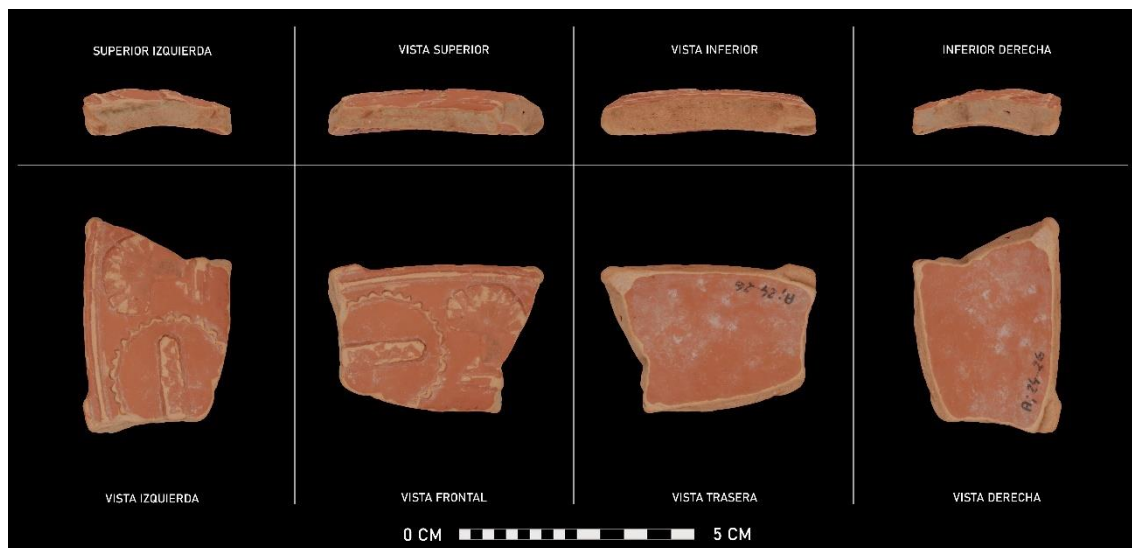


Figura 4.67. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 30 (S/N 1). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/49e1437383204843b319daecc7c8db47> [última visita: 26/10/19].

La pieza Nº 30 se obtuvo, igualmente, a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar (Fernández-Garcá y Moreno, 2013: 197 y fig 4.4). La pieza estaba registrada originalmente como AJ2426 (fig. 4.67), repitiéndose la sigla con la pieza anterior (fig. 4.62). En este caso, se trata de la parte de la zona de la pared de un recipiente decorado donde se conserva el trazo del *sigillum* del maestro alfarero. Es por ello que se convertía en un caso interesante, y diferente, sobre el que aplicar técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM. En este caso, y tras aplicar las diferentes técnicas (figs. 4.68 y 4.69), pudo apreciarse que la rúbrica, en este caso epigráfica, aludía a las iniciales *MSM*, una *officina* de la primera generación del alfareros *M.S.M* centrada en la producción de formas lisas 8, 15/17 y 27, así como formas decoradas 29, 37, Aj.1 (Fernández-García, 1988: 246-286; Fernández-García,

1998: 81-86; Fernández-García, 2004: 256-257; Fernández-García, 2013b: 313-314; Fernández-García *et al.*, 2007; Fernández-García y Moreno, 2013: 199-200; Fernández-García y Serrano, 2013: 93).

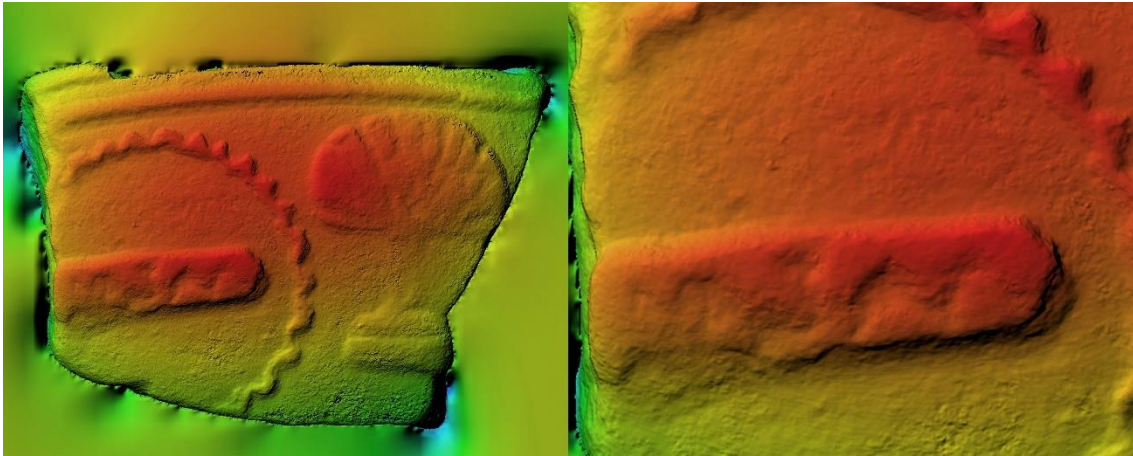


Figura 4.68. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 30 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

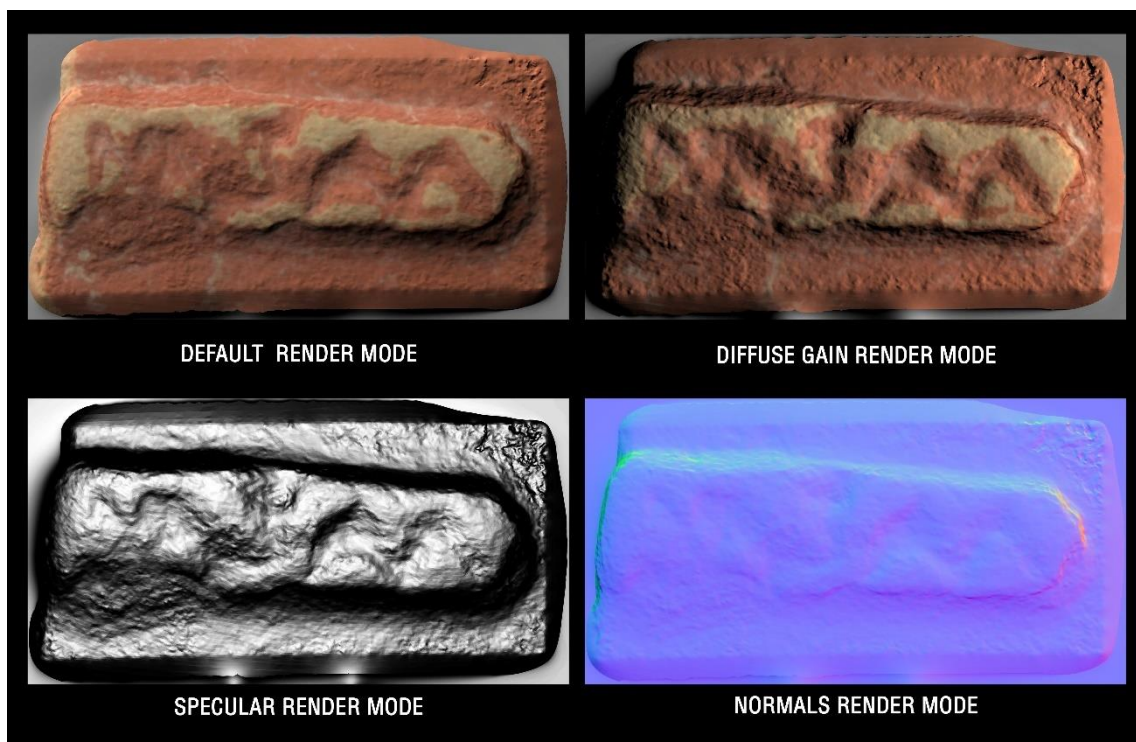


Figura 4.69. Montaje con las capturas obtenidas en RTIViewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 30 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Tal y como ocurría con la pieza N° 29, dado que la impronta de la rúbrica se había llevado a cabo a través de un molde completo y de forma conjunta con el resto de la decoración de la pieza de *terra sigillata* decorada, se decidió no llevar a cabo ninguna hipótesis reconstructiva. Por tanto, tampoco se llevó a cabo un modelo tridimensional compatible con dispositivos de impresión 3D, limitando los trabajos sobre esta pieza a la digitalización fotogramétrica y el análisis mediante *Reflectance Transformation Imaging* y modelos digitales de elevaciones (figs. 4.68 y 4.69).

- PIEZA 31 (AJ9089)



Figura 4.70. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 31 (AJ9089). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d45031fa91b147cab3ba87a419cc8dc2> [última visita: 26/10/19].

La pieza N° 31 se obtuvo a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar. La sigla original de la pieza es AJ9089 (fig. 4.70).

Concretamente, se trata de la parte de la zona de la base de un recipiente liso donde aún se conserva el *sigillum*. Es por ello que se convertía en un caso interesante sobre el que aplicar técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM. En este caso, y tras aplicar las diferentes técnicas (figs. 4.71 y 4.72), pudimos apreciar que la rúbrica, en este caso epigráfica, alude a las iniciales *M.S.F.* (S retrógrada). En este

caso se trata de la *officina* de primera generación *M.S.F.*, productora de formas 15/17 (Sotomayor *et al.*, 1999: 41; Fernández-García, 2013b: 313-314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández y Serrano, 2013: 93).

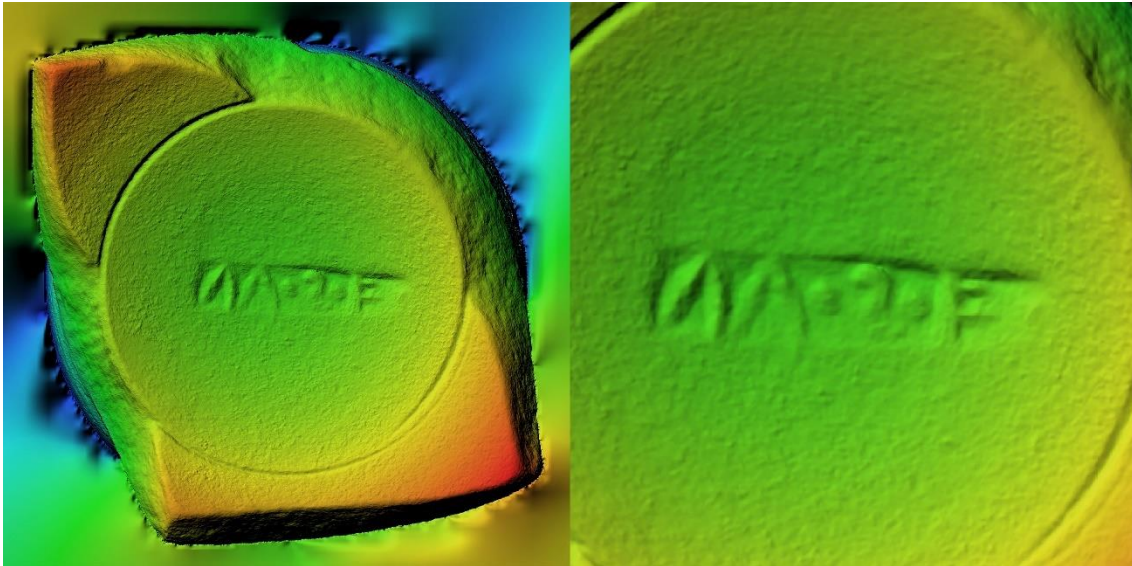


Figura 4.71. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 31 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).



Figura 4.72. Montaje con las capturas obtenidas en RTIViewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 31 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Con toda esta documentación gráfica como apoyo, y mediante el software de modelado y diseño 3D Blender, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza Nº 31 (figs. 4.73 Y 4.74). Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales (fig. 4.75).



Figura 4.73. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 31 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).



Figura 4.74. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 31 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

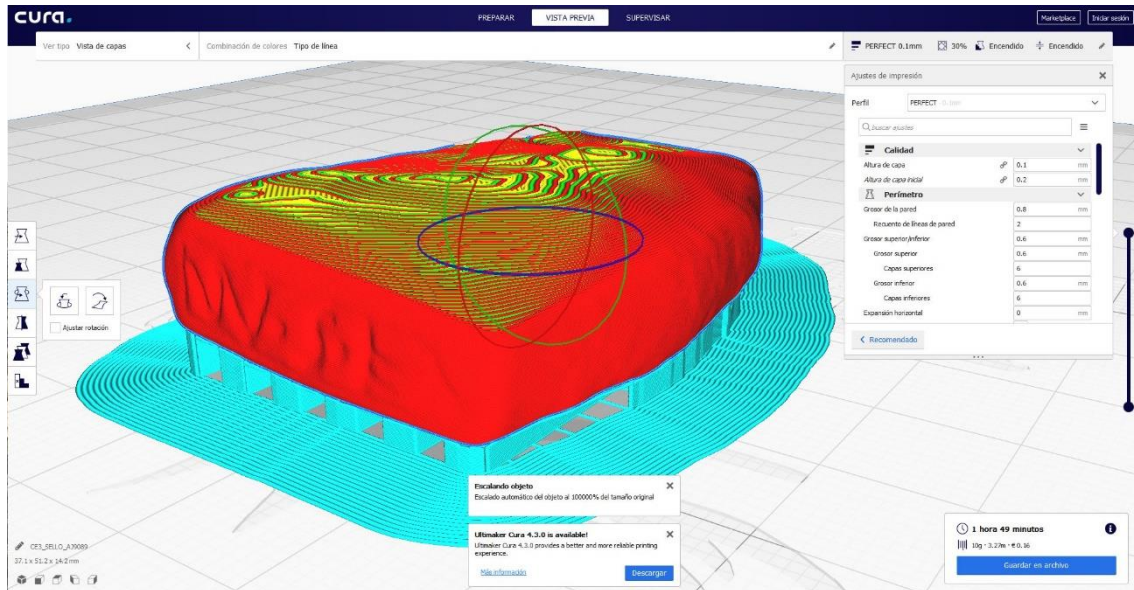


Figura 4.75. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N° 31 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 32 (S/N 1)



Figura 4.76. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 32 (S/N 1). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/411c67f036d24bdcb15128496f8be1f8> [última visita: 26/10/19].

La pieza N° 32 se obtuvo a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de

Andújar. La pieza original no tenía ninguna sigla visible, por lo que se le asignó la nomenclatura S/N1 (fig. 4.76).

En este caso, se trata de nuevo de la zona de la base de un recipiente liso donde aún se conserva el *sigillum*. Del mismo modo que en los casos anteriores, se llevó a cabo tanto un modelo *Polynomial Texture Mapping*, como un Modelo Digital de Elevaciones. Tras aplicar las técnicas descritas (figs. 4.77 y 4.78) se pudo apreciar, con mayor lujo de detalles, la rúbrica. De nuevo una firma de tipo epigráfico, donde podían leerse las iniciales *EXOFCIC*, haciendo quizás referencia a la *officina* de segunda generación *I.C.*, la cual realizaba platos de la forma 15/17 (Sotomayor *et al.*, 1999: 40; Fernández-García, 2004: 260; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 96).

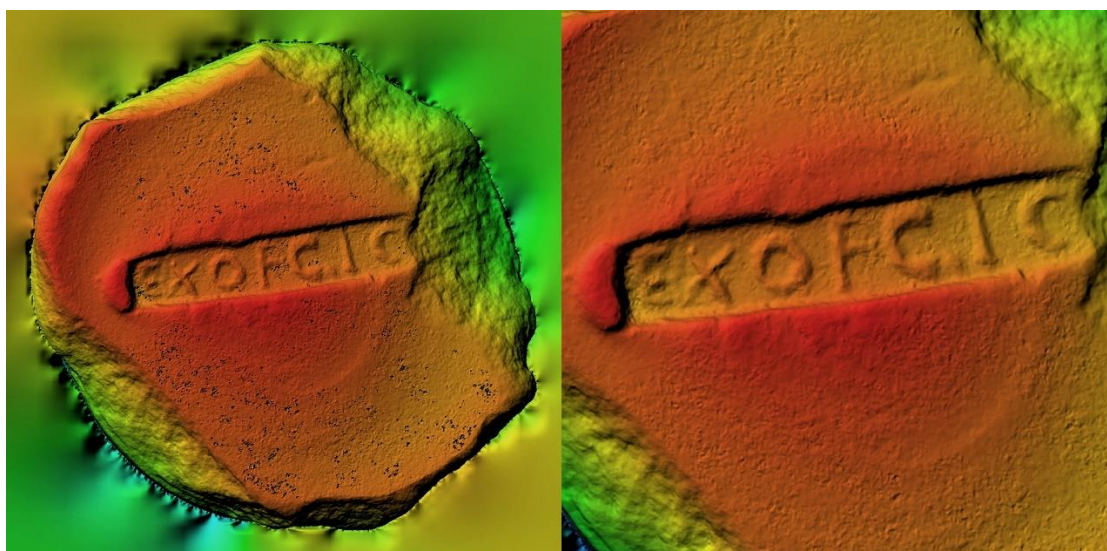


Figura 4.77. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 32 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

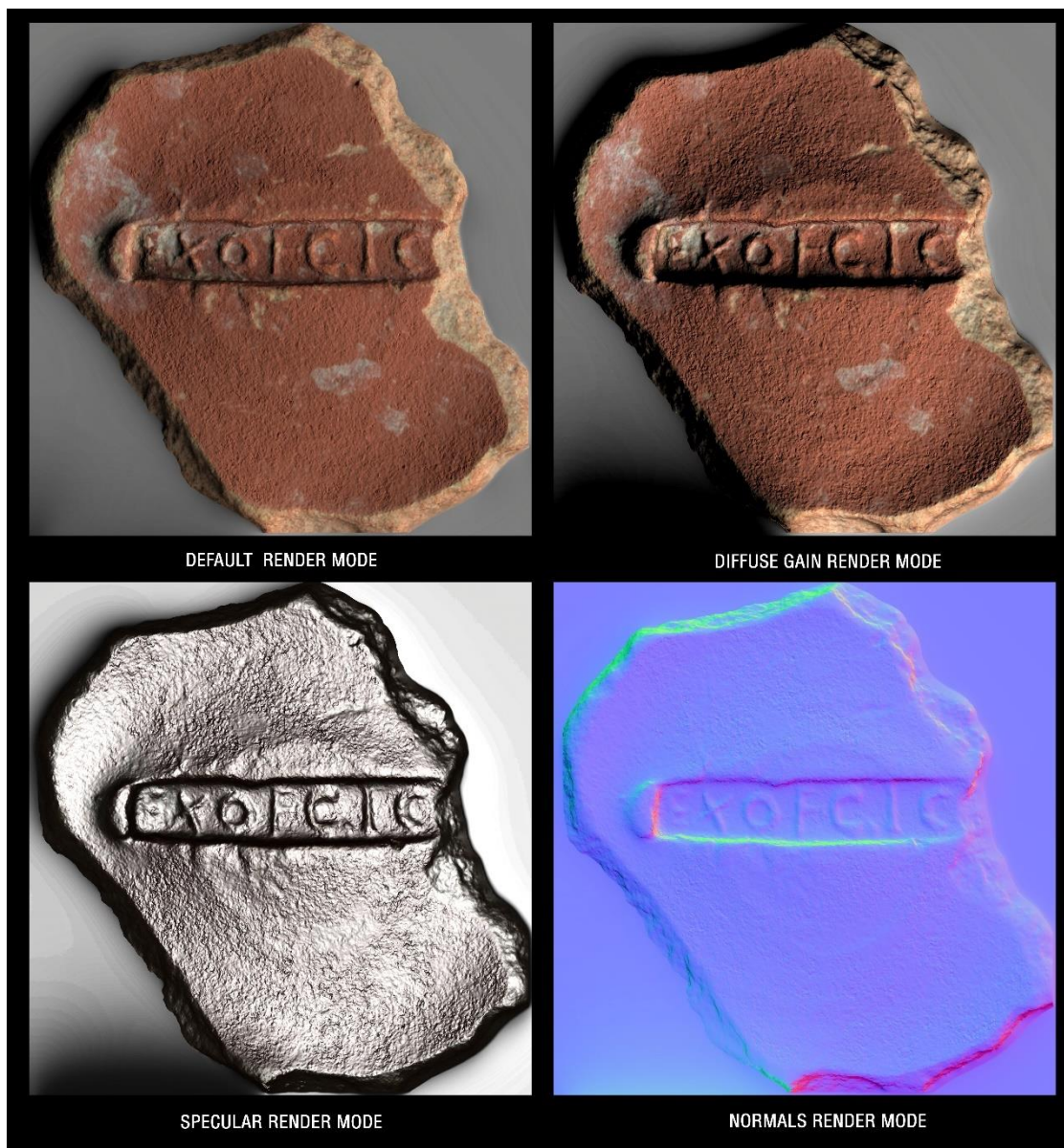


Figura 4.78. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 32 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Con toda esta documentación gráfica como apoyo, y mediante el *software* de modelado y diseño 3D Blender, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza Nº 32 (fig. 4.79). Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.80) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.

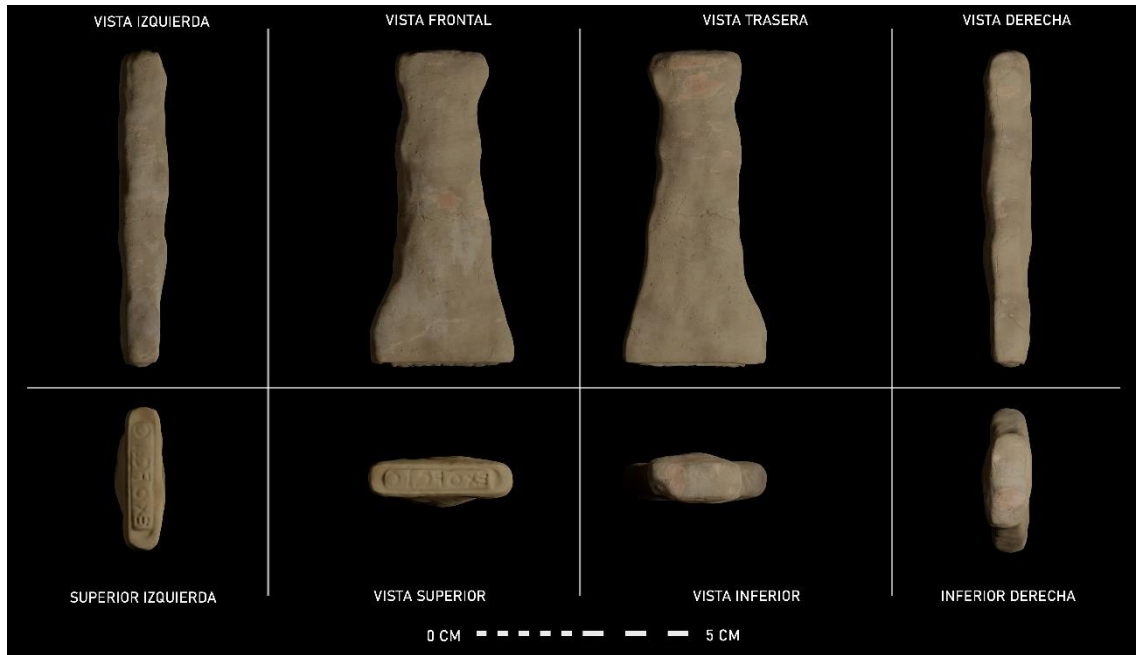


Figura 4.79. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 32 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

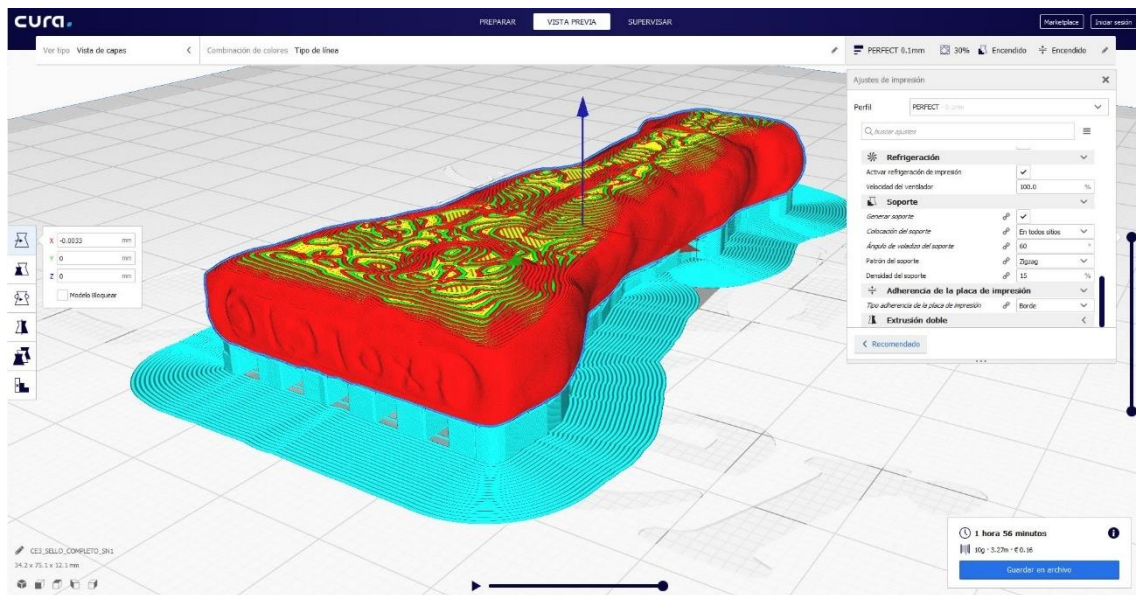


Figura 4.80. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N° 32 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 33 (S/N 2)

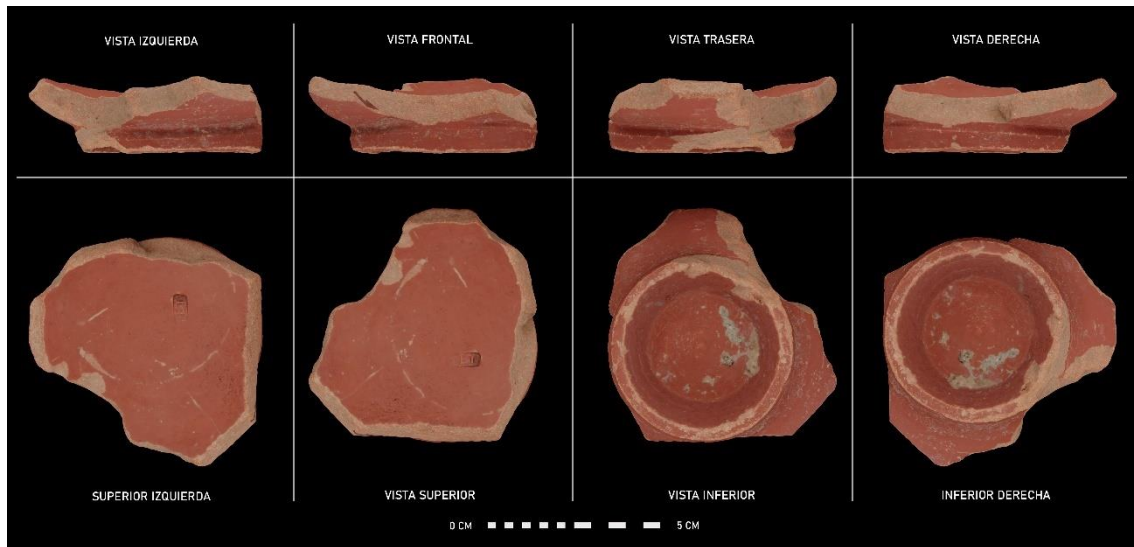


Figura 4.81. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N 33 (S/N 2). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/7d0491afcb22480f88f969bfcd58a8b2> [última visita: 26/10/19].

La pieza N^o 33 se obtuvo a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar. La pieza original no tenía ninguna sigla visible, por lo que se le asignó la nomenclatura S/N2 (fig. 4.81). Concretamente, se trata de la parte del fondo de un recipiente liso, con algo más de alzado que en los casos anteriores, y donde aparece dispuesto una marca de punzón profundamente desgastada.

Para intentar mejorar su visualización se aplicaron técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM. En este caso, y tras aplicar las diferentes técnicas (figs. 4.82 y 4.83), el resultado no fue del todo satisfactorio. El *sigillum* de la pieza no se encontraba deteriorado, sino que la ejecución de la impronta había fallado durante el proceso de fabricación de la misma. De esta forma, la primera parte de la rúbrica resultó ser tan leve que fue imposible apreciar la firma al completo. No obstante, la parte legible nos remite a *E[X.O]F.P.T*, haciendo quizás referencia a la *officina* de segunda generación *PT*, productora de formas 15/17 y 27 (Sotomayor *et al.*, 1999: 40; Fernández-García,

2004: 260; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 96).

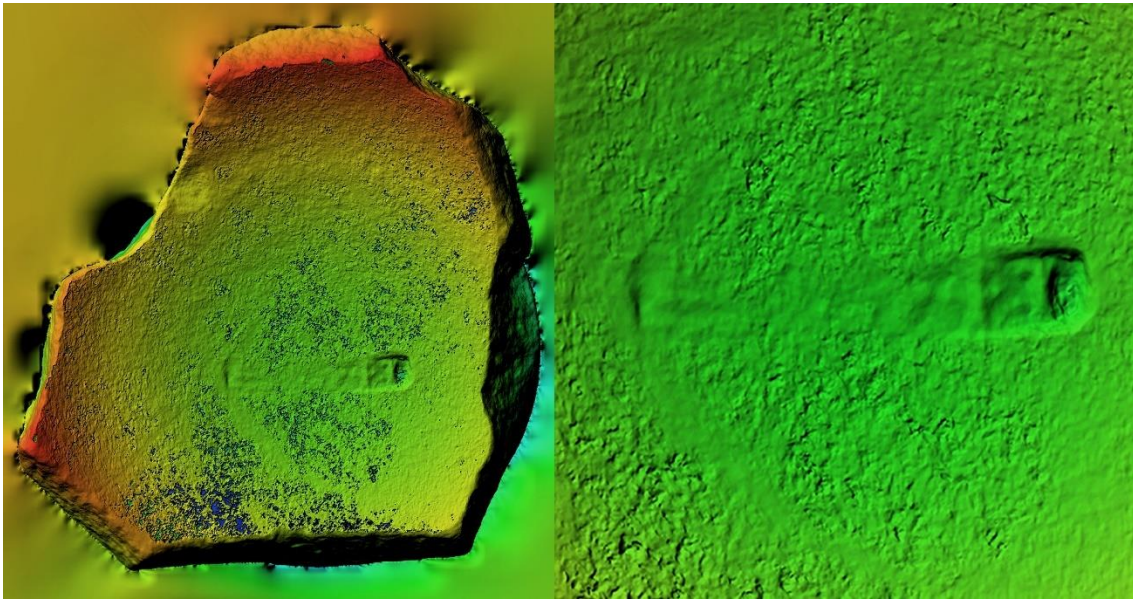


Figura 4.82. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N ° 33 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

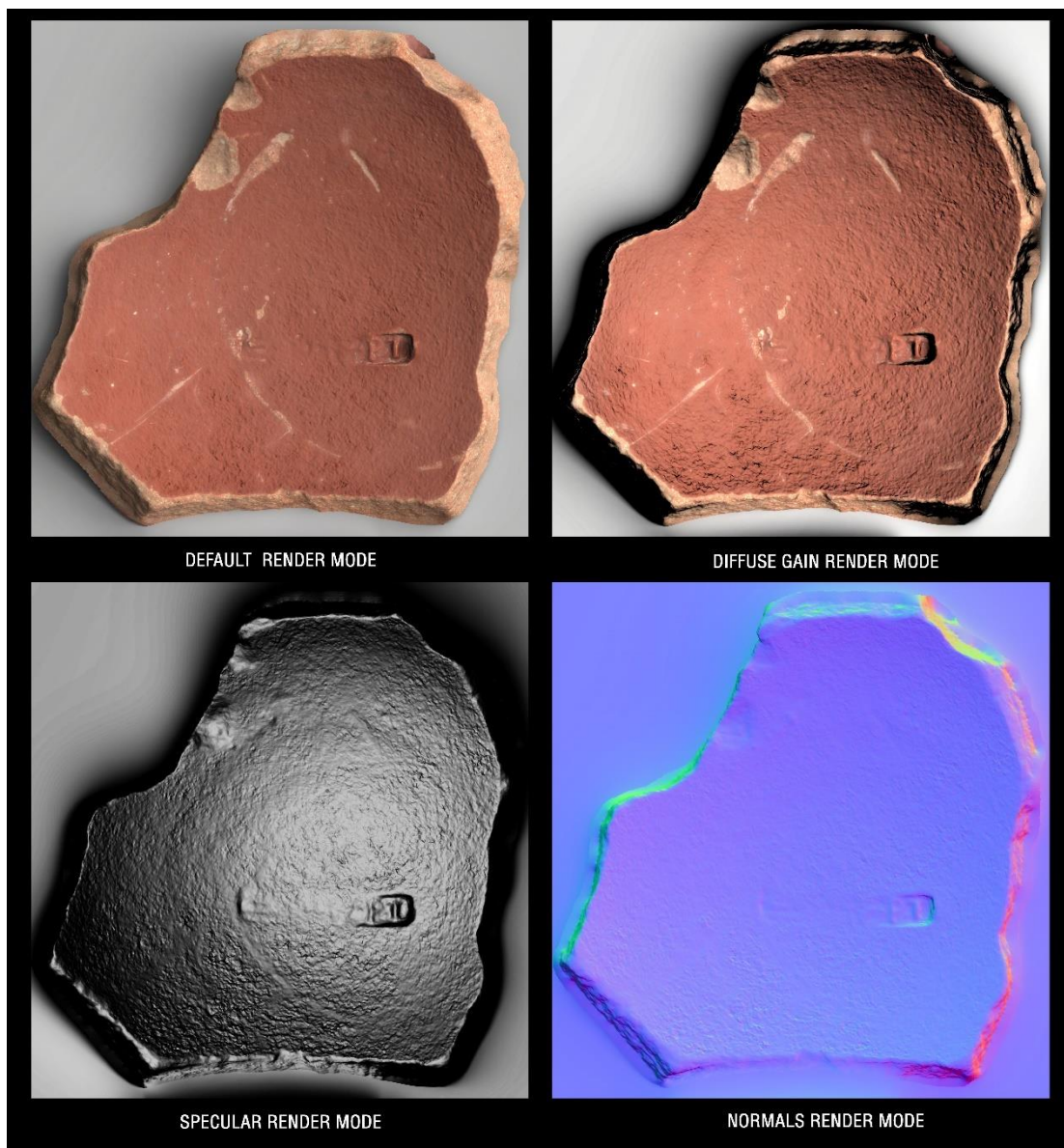


Figura 4.83. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza N^o 33 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Dado el grado de deterioro del sello, el calco resultante era demasiado incompleto. Por este motivo, gran parte del sello cerámico hubo de reconstruirse de forma totalmente manual (fig. 4.84).

Una vez hecho esto, y con toda esta documentación gráfica y bibliográfica como apoyo, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza N^o 33 (fig. 4.85).

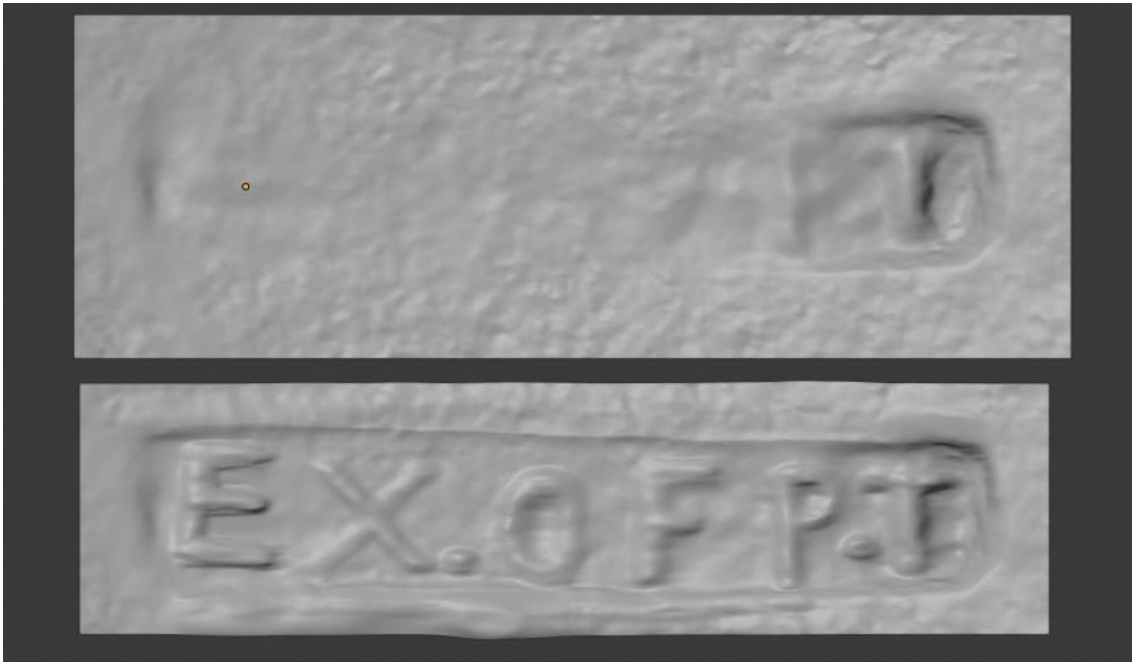


Figura 4.84. En la parte superior, calco obtenido directamente de la pieza de *terra Sigillata* hispánica Nº 33. En la parte inferior, calco retocado a partir del modelo original y trazado tras una rigurosa consulta bibliográfica (Sotomayor *et al.*, 1999: 40; Fernández-García, 2004: 260; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 96).



Figura 4.85. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 33 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.86) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.

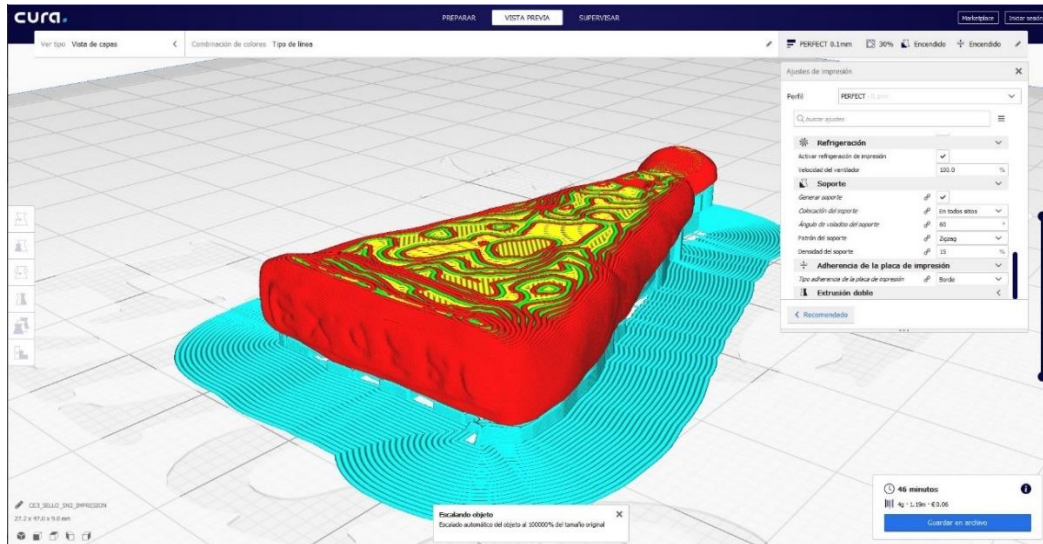


Figura 4.86. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* Nº 33 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 34 (S/N 3)

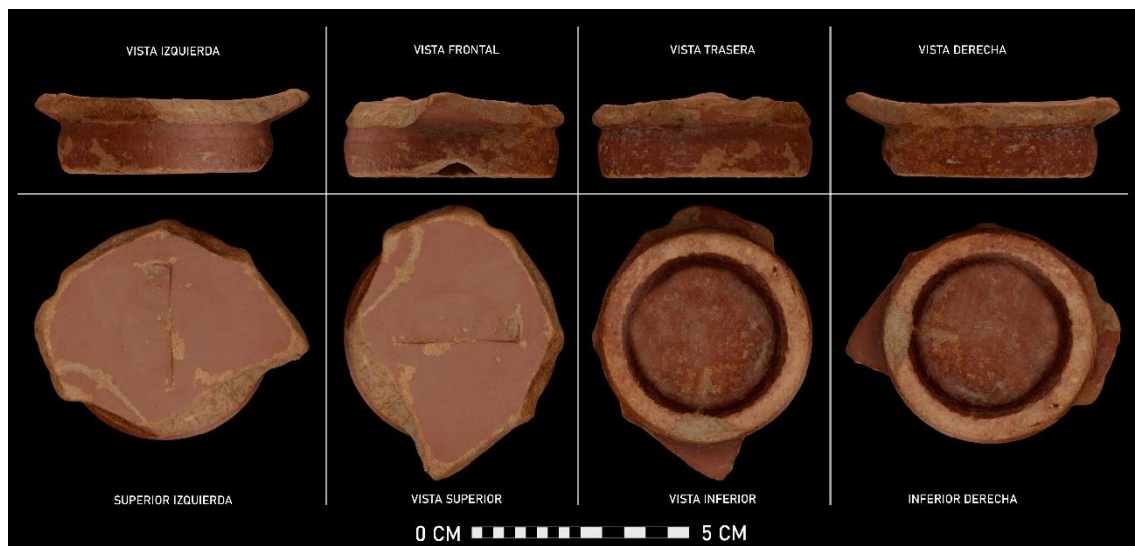


Figura 4.87. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 34 (S/N 3). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/31fed493a4af42c8a1c2a710dba940f4> [última visita: 26/10/19].

La pieza Nº 34 se obtuvo a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar. La pieza original no tenía ninguna sigla visible, por lo que se le asignó la nomenclatura S/N3 (fig. 4.87). Concretamente, corresponde al fondo interno de un recipiente liso en el cual aparece un *sigillum* de difícil lectura. Para intentar mejorar su visualización se aplicaron técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM. En este caso, y tras aplicar las diferentes técnicas (figs. 4.88 y 4.89), el resultado no fue del todo satisfactorio. Como ocurría con la pieza Nº 33, el *sigillum* no se encontraba deteriorado, sino que el estampado se había realizado de forma errónea. De esta forma, gran parte de la rúbrica resultó ser tan leve que fue casi imposible apreciar la firma. Se trata de otro epígrafe donde parece leerse [EX].TIF [motivo vegetal]”, lo que nos remite a la *officina* de segunda generación TIF, productora de formas 15/17 y 27 (Sotomayor *et al.*, 1999: 42; Fernández-García, 2004: 260; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 97).

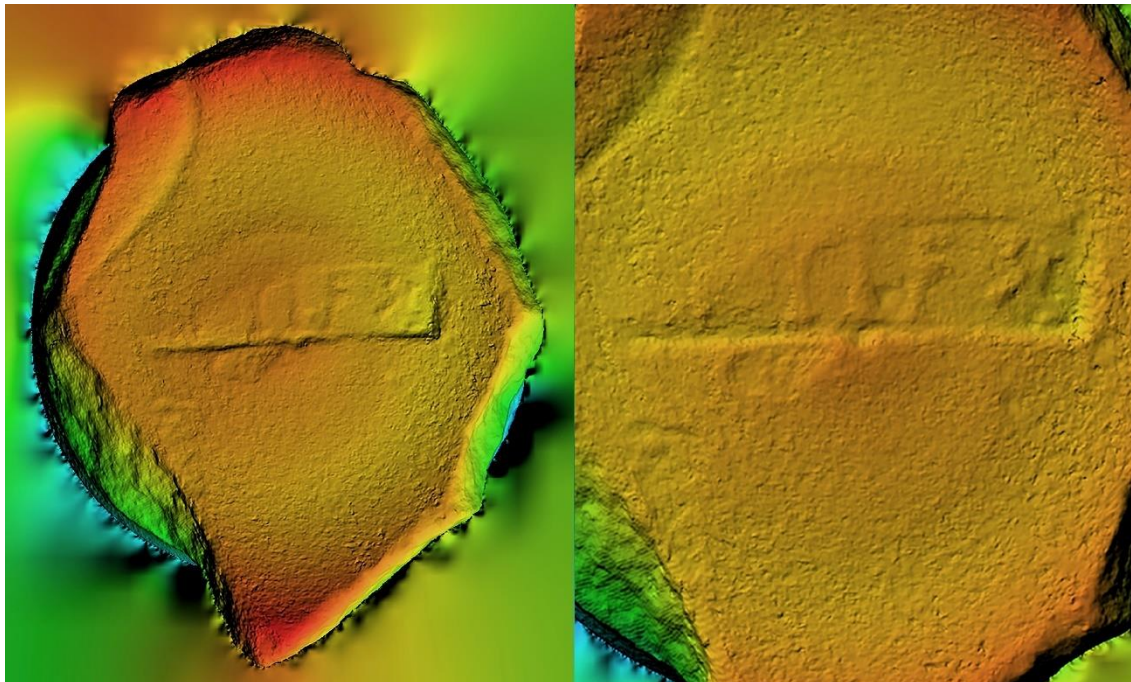


Figura 4.88. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 34 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

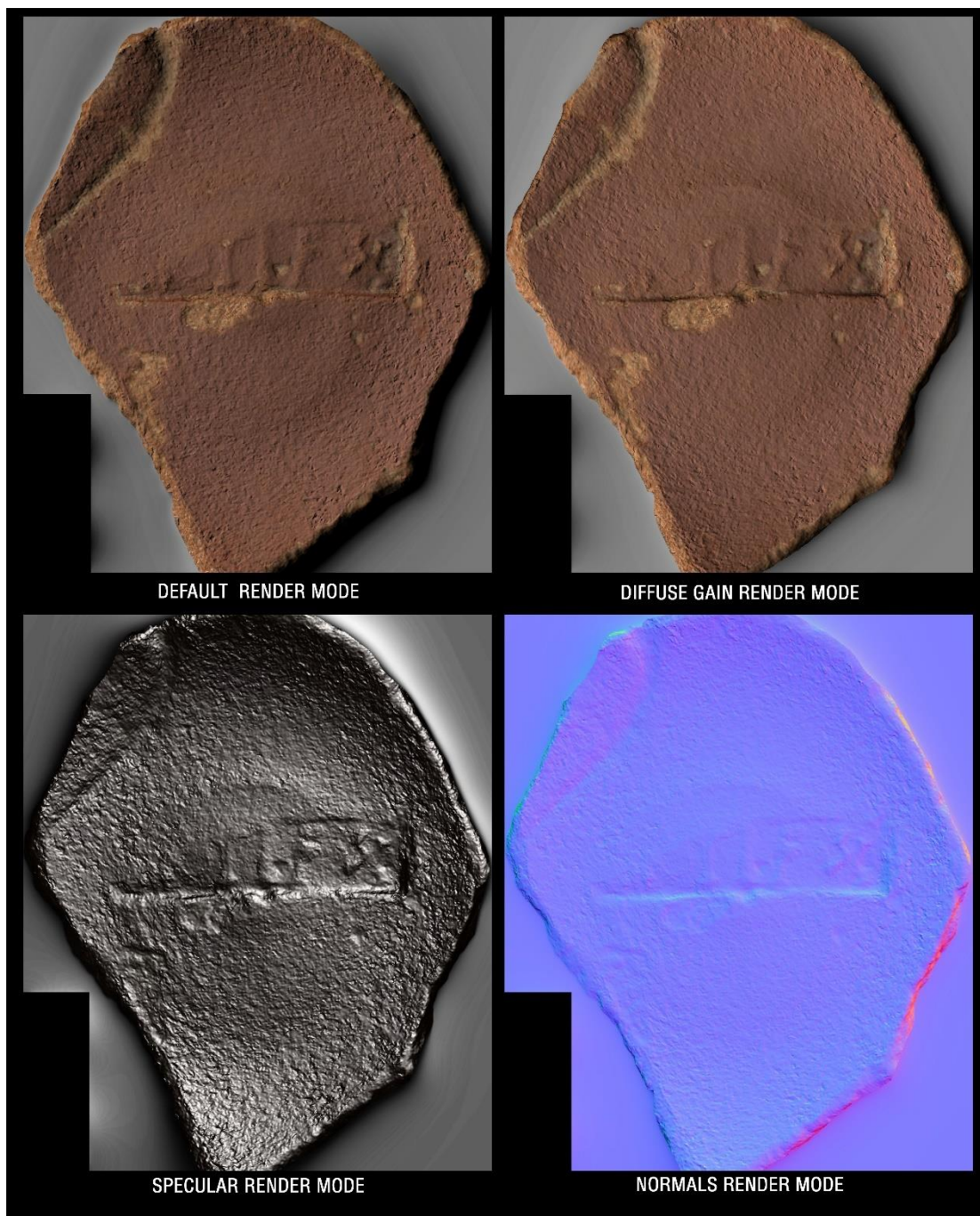


Figura 4.89. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 34 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Dado el grado de deterioro del sello, el calco resultante era demasiado incompleto. Por este motivo, gran parte del sello cerámico hubo de reconstruirse de forma totalmente manual (fig. 4.90).



Figura 4.90. En la parte superior, calco obtenido directamente de la pieza de *terra sigillata* hispánica Nº 34. En la parte inferior, calco retocado a partir del modelo original y trazado tras una rigurosa consulta bibliográfica (Sotomayor *et al.*, 1999: 42; Fernández-García, 2004: 260; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 97).



Figura 4.91. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 34 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

Tras la recomposición de la parte faltante del sello, y con toda esta documentación gráfica y bibliográfica como apoyo, se llevó a cabo una hipótesis reconstructiva del punzón con el que pudo rubricarse la pieza N° 34 (fig. 4.91).

Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.92) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.

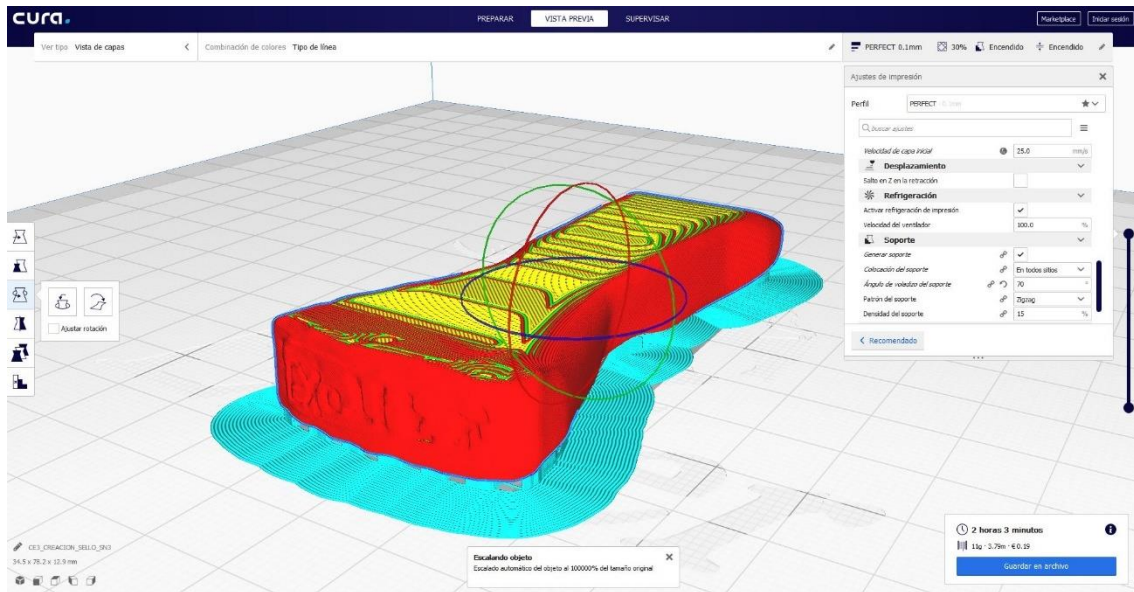


Figura 4.92. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N° 34 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 35 (S/N 4)



Figura 4.93. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 35 (S/N 4) del fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d9c455ce4bc24e5eb38e278bd14aa7cb> [última visita: 26/10/19].

La pieza N° 35 se obtuvo a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar. La pieza original no tenía ninguna sigla visible, por lo que se le asignó la nomenclatura S/N4 (fig. 4.93). En este caso, corresponde al fondo interno de un recipiente liso donde aún se conserva parte del *sigillum*. Del mismo modo que en los casos anteriores, se llevó a cabo tanto un modelo *Polynomial Texture Mapping*, como un Modelo Digital de Elevaciones.

Tras aplicar las técnicas descritas (figs. 4.94 y 4.95) se pudo apreciar, con mayor lujo de detalles, la rúbrica. De nuevo una firma de tipo epigráfico, donde podían leerse las iniciales [EX]OAA, *officina* de la segunda generación dedicada principalmente a la producción de formas 15/17 y 27 (Sotomayor *et al.*, 1999: 39; Fernández-García, 2004: 259; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 95).

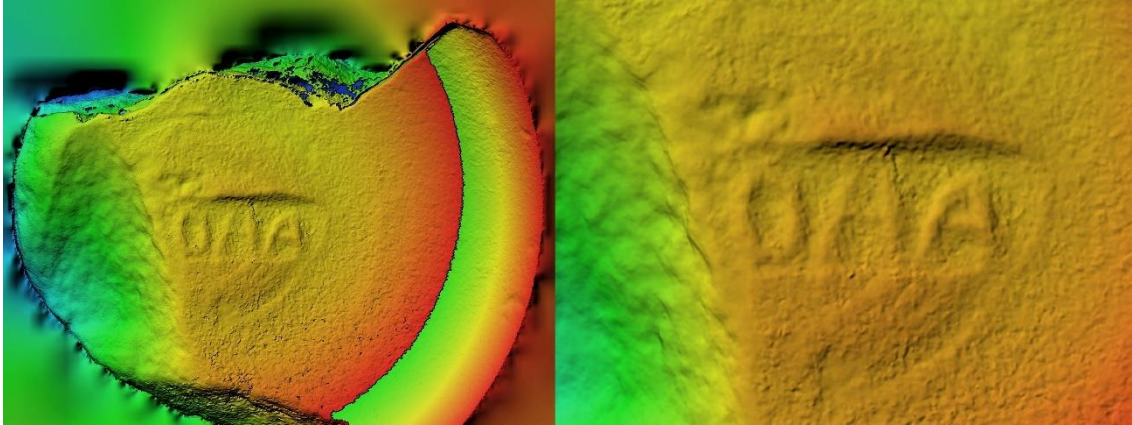


Figura 4.94. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 35 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

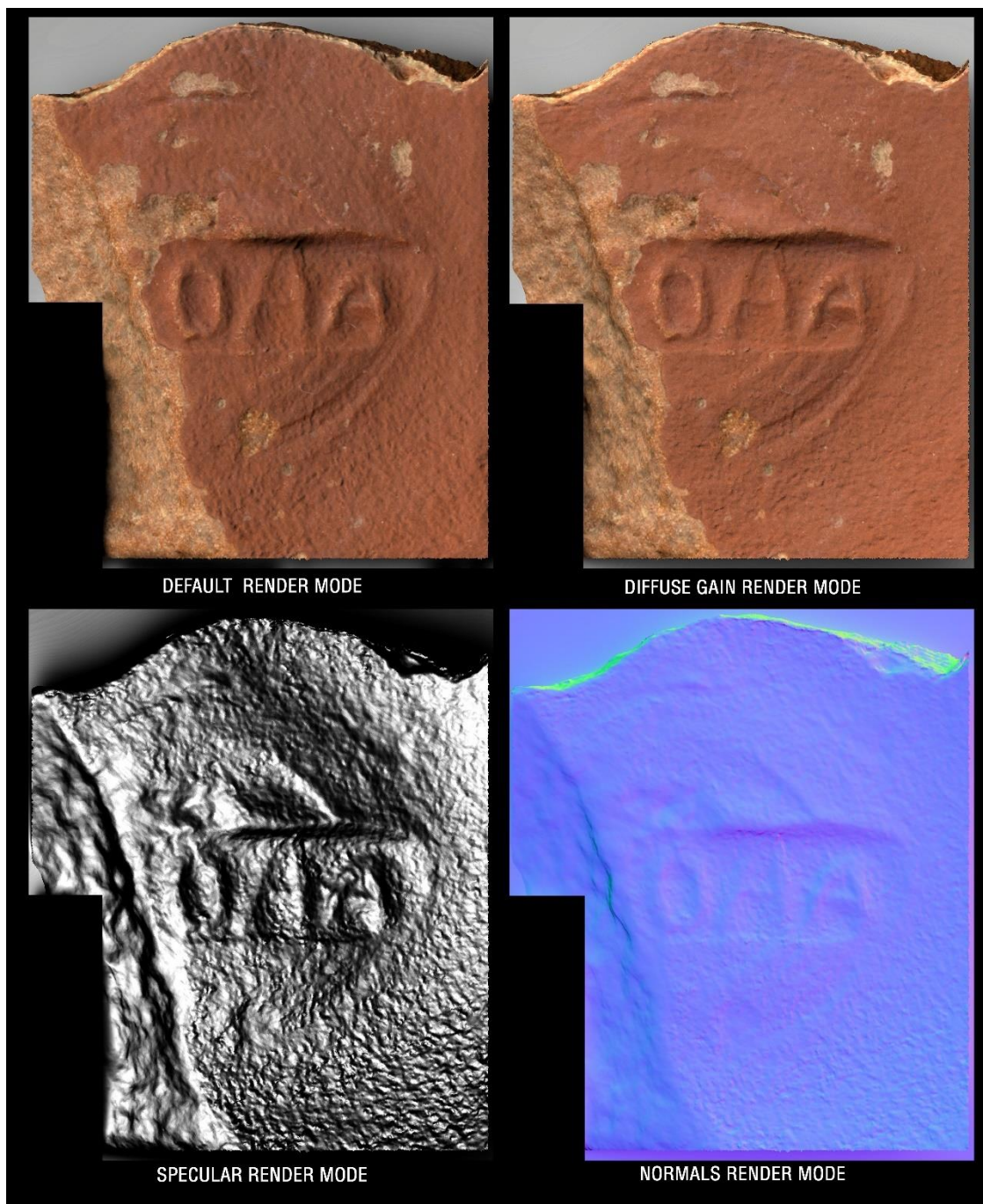


Figura 4.95. Montaje con las capturas obtenidas en RTIViewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 35 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

Como en los dos casos anteriores, la firma aquí no resultaba completamente visible. Sin embargo, gracias a la aplicación del RTI y del DEM (figs. 4.94 y 4.95), la disposición del contorno exterior de la impronta del punzón podía apreciarse de forma clara. Gracias a ello, y tras una consulta bibliográfica, pudo trazarse una hipótesis reconstructiva de la

parte faltante del sello (fig. 4.96) y, posteriormente, reconstruir el punzón de forma íntegra (fig. 4.97).

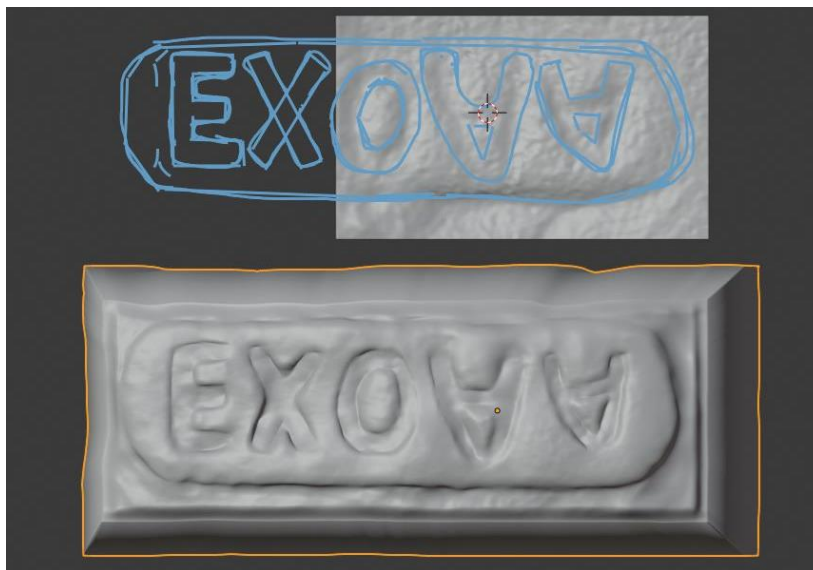


Figura 4.96. En la parte superior, calco obtenido directamente de la pieza de *terra sigillata* hispánica N° 35. En la parte inferior, calco retocado a partir del modelo original y trazado tras una rigurosa consulta bibliográfica (Sotomayor et al., 1999: 39; Fernández-García, 2004: 259; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 95).



Figura 4.97. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 35 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

Una vez reconstruido, el modelo tridimensional fue preparado para su posterior impresión. Para ello, se elaboró un modelo segmentado en de la pieza en formato .gcode (fig. 4.98) y perfectamente compatible con la práctica totalidad de los dispositivos de impresión actuales.

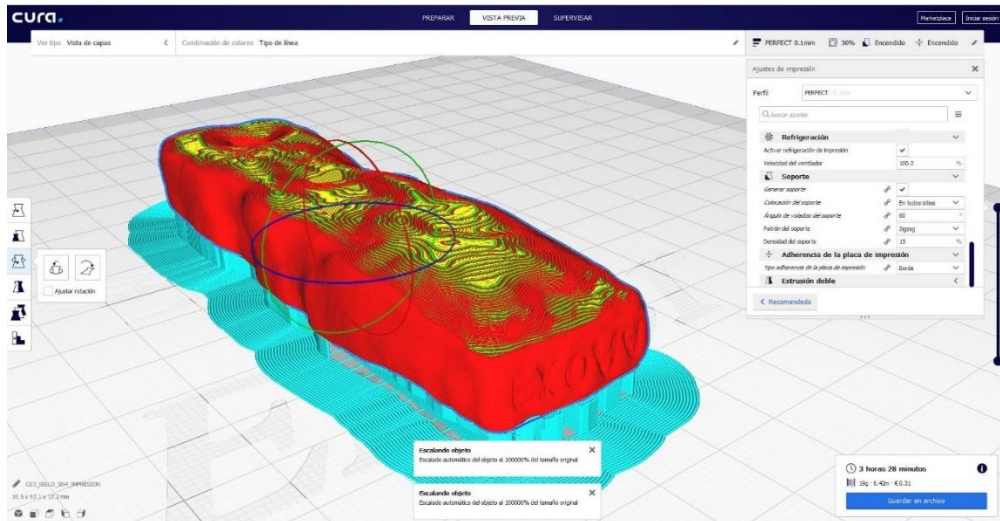


Figura 4.98. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N° 35 procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 36 (S/N 5)



Figura 4.99. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 36 (S/N 5). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c32d57e772004920890f4586ed56c73a> [última visita: 26/10/19].

La pieza Nº 36 se obtuvo a partir de la digitalización de otro fragmento de una *terra sigillata* hispánica procedente de las excavaciones llevadas a cabo en Los Villares de Andújar. La pieza original no tenía ninguna sigla visible, por lo que se le asignó la nomenclatura S/N 5 (fig. 4.99). Concretamente, se trata del fondo interno de un recipiente liso que experimentó algún fallo durante la cocción y presenta una tonalidad negruzca que dificulta además la lectura del *sigillum*. Para intentar mejorar su visualización se aplicaron técnicas de fotografía computacional como el RTI o la elaboración de DEM. En este caso, y tras aplicar las diferentes técnicas (figs. 4.100 y 4.101), se pudo apreciar con un detalle mucho mayor la disposición de la rúbrica estampada. De nuevo una firma de tipo epigráfico, donde podían leerse las iniciales *M.S.M.* De nuevo, se trata de la *officina* de primera generación de fabricantes *M.S.M.*, productora tanto de vasos lisos como decorados.

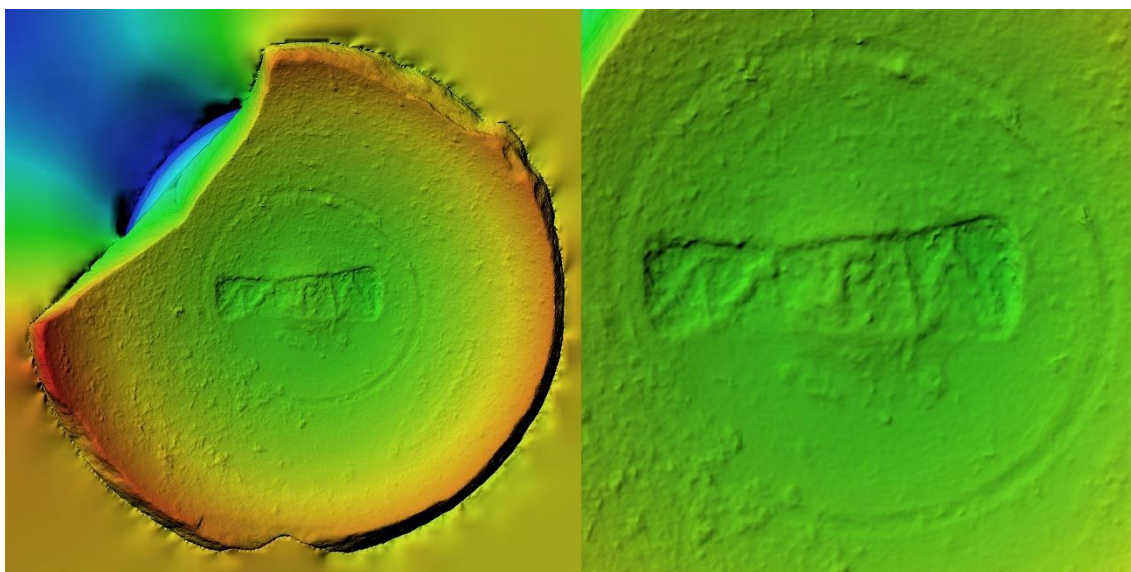


Figura 4.100. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 36 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.

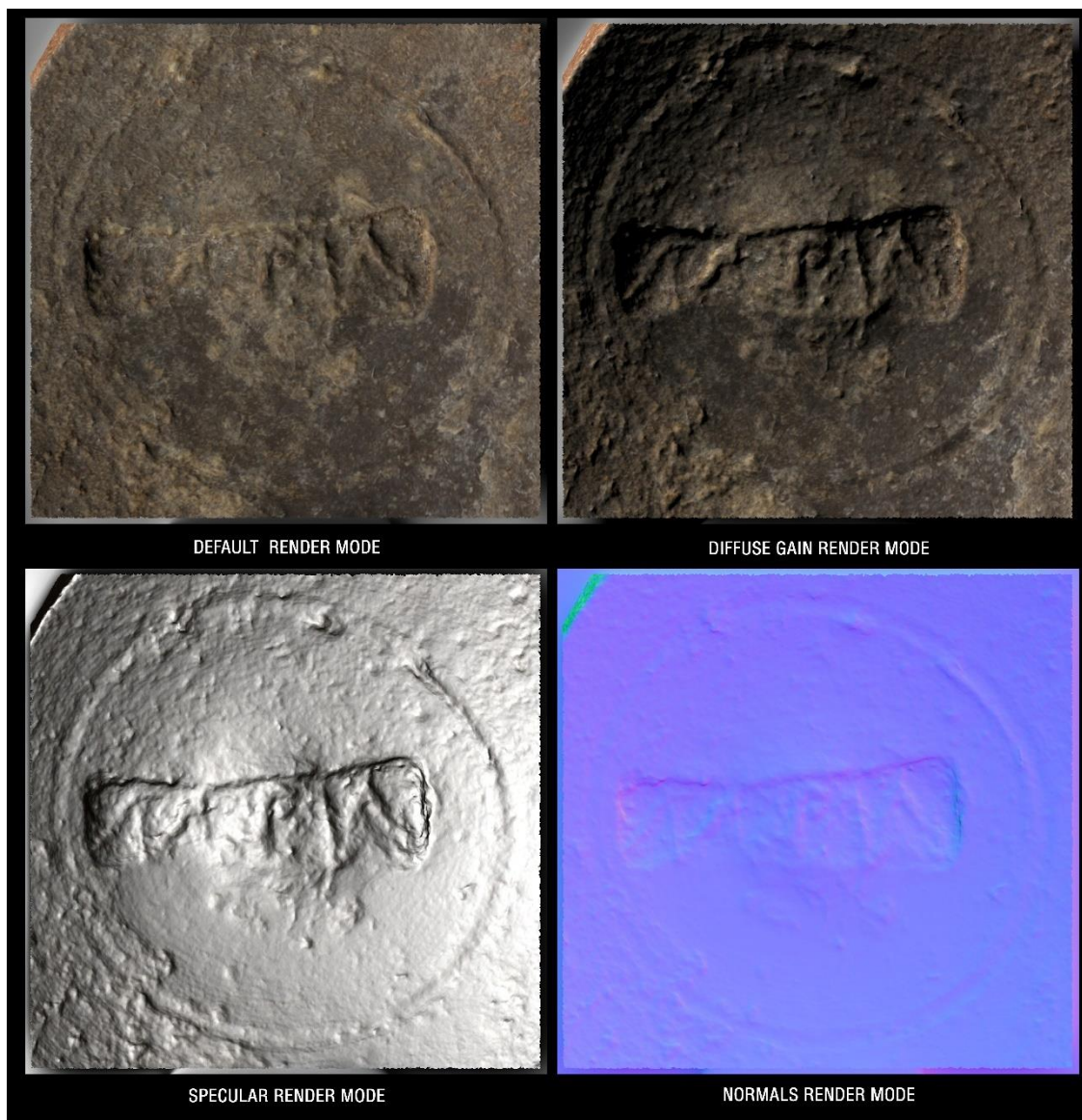


Figura 4.101. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza nº 36 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva.

En este caso y dado que tanto la *officina* productora como la propia disposición de la rúbrica era prácticamente idénticas a las de la pieza nº 28 (figs. 4.59-4.62), se decidió no llevar a cabo ninguna hipótesis reconstructiva del punzón. Consecuentemente, tampoco fue posible la elaboración de un modelo segmentado del mismo.

En términos generales y tras aplicar, tanto el RTI de tipo virtual como la obtención de DEMs, sobre esta selección de *terrae sigillatae* procedente de Los Villares de Andújar se puede concluir:

1. En primer lugar, ambos métodos suponen una mejora significativa a la hora de visualizar e interpretar aquellos rasgos más erosionados. De este modo, se obtiene una visión aumentada en 2D, pero con atributos 3D que permite resaltar características físicas que pasarían desapercibidos durante un análisis visual macroscópico.
2. En segundo lugar, al tratarse de piezas digitales estas pueden ser preparadas, limitadas y manipuladas previamente potenciando así el efecto que sendas metodologías tienen sobre ellas. De esta forma, se ha podido aislar la zona concreta donde se ubicaba la rúbrica de cada una de las *terrae sigillatae* analizadas. Esto ha supuesto una ventaja importantísima a la hora de aplicar las diversas fuentes de luz rasante, pues se limitaban las sombras o los brillos. Todo ello a través de mecanismos totalmente inocuos para la pieza original.
3. En tercer lugar y relacionado con el punto anterior, queda perfectamente claro que el pre-procesado o recorte de los modelos fotogramétricos resulta una tarea mucho más sencilla si se realiza en el propio *software* fotogramétrico. El uso de *softwares* de diseño 3D como Blender puede ser útil en determinados casos, especialmente cuando la complejidad del modelo es muy grande, pero la manipulación de la malla geométrica se vuelve mucho más tediosa y complicada en estas plataformas. En este punto, es necesario aclarar que el *software* fotogramétrico Agisoft Metashape, conocido en anteriores versiones como Agisoft Photoscan, se convierte en la mejor opción, dado que Reality Capture y los demás programas fotogramétricos del mercado se encuentran algo más limitados a la hora de delimitar, recortar y, en definitiva, manipular los modelos fotogramétricos.
4. En cuarto lugar, el uso de ambas técnicas no está exento de inconvenientes y estos deben ser señalados y analizados. A pesar de que el RTI virtual ayuda considerablemente a la identificación de las diferentes piezas de *terrae sigillatae*, la precisión que aporta sigue siendo insuficiente en casos donde las piezas se encuentran profundamente erosionadas (figs. 4.83 y 4.89). Esto se debe, en gran medida, a los problemas que surgen a la hora de generar modelos fotogramétricos de esta clase cerámica. La digitalización de la *terra sigillata* hispánica de *Isturgi*, ha supuesto un auténtico reto debido,

principalmente, a los brillos y a la homogeneidad de su color y superficie. Obviamente, todo esto limita de forma considerable la creación de réplicas fotogramétricas de calidad suficiente propiciando a su vez que la técnica tradicional de captura siga siendo superior en cuanto a exactitud y detalle se refiere.

5. En quinto lugar, a este inconveniente se ha de sumar la enorme exigencia que recae sobre los equipos informáticos destinados a afrontar estos procedimientos. Los tiempos de procesado de un modelo de RTI virtual siguen siendo excesivamente altos en comparación, por ejemplo, con los que implica producir un DEM. Unas 12 horas de media para la obtención de las imágenes necesarias, a lo que habría que sumarse otros 20 minutos para la posterior creación del modelo de reiluminación (.ptm).

Es por este motivo, que los Modelos Digitales de Elevaciones (DEMs) se convierten en una alternativa viable si lo que se buscan son resultados rápidos. Una vez realizada la nube de puntos densa o la malla de nuestro modelo fotogramétrico, en cuestión de segundos es posible obtener este tipo de representación gráfica. El resultado, una imagen estática que combina diferentes gamas de color dependiendo de la altura o cota relativa de cada parte del modelo, cumple su función en la mayoría de los casos. No obstante, al ser una imagen estática impide jugar con las variables del análisis y cualquier modificación que se quiera realizar supone rehacer el procedimiento. Aquí reside, quizás, la principal ventaja del RTI virtual; el alto nivel de manipulación y la interactividad que aporta al investigador.

6. Como desventaja común a sendas técnicas se ha de mencionar que, ambas, dependen en exceso de la calidad de los modelos fotogramétricos sobre los que se aplica. En el caso del RTI virtual la resolución era importante, sin embargo, en el caso de los DEMs, es esencial generar nubes de puntos o mallas digitales muy pesadas. Todo ello, retrotrae a una problemática que se viene comentando de forma recurrente; la necesidad de tiempos de procesado muy largos y, en determinadas ocasiones, difícilmente justificables.

7. En definitiva, en el caso concreto de las *terrae sigillatae* isturgitanas, y atendiendo a la variable Tiempo Invertido-Resultados, la balanza se decanta claramente por la producción de Modelos Digitales de Elevaciones o DEM. No obstante, la documentación gráfica aportada por ambas técnicas se convierte en una herramienta viable de cara al estudio, a distancia, de las marcas de entalle de este tipo de recipientes cerámicos. Igualmente, tanto los Modelos Digitales de Elevaciones como los *Polynomial Texture Mappings* han demostrado su utilidad a la hora de trazar las hipótesis reconstructivas de los punzones o marcas de entalle con los que se rubricaban las piezas.

8. En relación con esto último, la reconstrucción de los diferentes punzones a través de técnicas digitales que, como estas, aportan un alto grado de exactitud, abre una nueva vía de análisis en torno a las marcas de entalle de las producciones lisas de *terra sigillata*. Ya no solo a nivel local, con las cerámicas del *Municipium Isturgi Triumphale*, sino a una escala mucho más amplia, el flujo de trabajo descrito en el presente apartado implicaría la aprehensión de unos datos hasta ahora confinados al más profundo desconocimiento.

4.5 Cerámica pintada de tradición Ibérica de Los Villares de Andújar. El tratamiento de Imagen con Dstretch y las réplicas tiflológicas



Figura 4.102. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas de cerámica pintada de tradición ibérica que conforman el conjunto seleccionado de cerámica pintada de tradición ibérica de Los Villares de Andújar.

Se ha visto como el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, si bien enfocado en la fabricación de *terra sigillata*, daba salida también a clases cerámicas mucho más variadas (Fernández-García, 2013a: 155-312). En este contexto productivo, la cerámica pintada de tradición ibérica ocupó un papel de cierta importancia entre las clases cerámicas documentadas en el barrio artesanal adscrito al núcleo urbano de *Isturgi*.

Como bien indicaba Juan Manuel Abascal (1992: 91), “*la cerámica es uno de los elementos que con más vigor retienen las tradiciones indígenas*”. En efecto, la rápida asimilación de las nuevas tecnologías ligadas a la producción cerámica que se importaron desde el mundo romano no supuso, en ningún caso, el abandono total de dinámicas precedentes. Lejos de ello, se convierte en un ejemplo más de una manifiesta tendencia a la hibridación cultural. En el caso de *Isturgi*, la cerámica pintada de tradición ibérica revela, precisamente, la fuerza de este sustrato nativo que aún pervive en las poblaciones asentadas en la zona.

Dentro del marco cronocultural de la romanización peninsular, la cerámica de tradición ibérica, al igual que ya ocurre con la cerámica ibera previa a la conquista romana de Hispania, presenta una amplia diversidad formal. Una complejidad que se debe en parte a la propia atomización en las que se veían insertas las comunidades prerromanas (Ruiz y Peinado, 2013: 163). En efecto, la fecha y la forma específica en que se produce la aculturación de cada una de las zonas del ámbito peninsular repercutirá, obviamente, en la disposición, cronología o en la fuerza con que estas expresiones materiales de un indigenismo que aún pervive, se presentan en el registro arqueológico (Abascal, 1992: 91).

En términos generales, la confección de cerámicas pintadas de tradición ibérica en el ámbito peninsular debe enmarcarse entre los últimos años del siglo I a.C. y el siglo I d.C. Durante este periodo de tiempo, se identifican además dos etapas productivas bastante claras. Durante la primera de ellas, que abarcaría la época julio-claudia, las producciones cerámicas están aun fuertemente condicionadas por las tradiciones locales y son, igualmente, claras deudoras de la cerámica indígena precedente. A partir de época Flavia no obstante, la confluencia de la cerámica pintada de tradición ibérica con otros elementos formales y estilísticos de origen exógeno resulta mucho más clara aportando cierta novedad a este tipo de cerámicas (Abascal, 1992: 93-94). Sea como fuere, se debe entender esto como un proceso de carácter paulatino que implicará la aparición escalonada, y nunca coetánea, de este nueva clase cerámica (Abascal Palazón, 1992: 91; Ruiz y Espinosa, 2013: 163).

A pesar de toda esta diversidad cultural y ciertamente cronológica, existen determinadas zonas donde sí que puede hablarse de una cierta unidad en torno a la fabricación de cerámica pintada de tradición ibérica. Es el caso de la cerámica pintada tipo Clunia, habitual en el norte de la Meseta (Abascal, 1992: 92, 2008: 435) o de la cerámica pintada tipo “Meseta Sur” (Fernández-Galiano, 1977: 178-182) en la parte más meridional de esta. En ambos casos, existen ciertos rasgos y características que trascienden lo puramente local y permiten hablar de fenómenos algo más regionales.

En el marco geográfico concreto en que se inserta *Isturgi*, en el extremo más meridional de la meseta existen, no existen evidencias claras que permitan hablar de una homogeneidad como tal en torno a esta clase cerámica. Algo que se explica, tanto por la ausencia de estudios pormenorizados sobre cerámica pintada de tradición ibérica llevados a cabo en la zona, como por las propias dinámicas internas de estas poblaciones. En efecto, las campañas e intervenciones arqueológicas llevadas a cabo durante más de 40 años en el yacimiento han puesto en evidencia el consumo de este tipo de cerámica. Sin embargo, aún no se ha trabajado de forma específica en analizar la presencia de esta ni dentro ni fuera del propio ámbito del *Municipium Isturgi Triumphale*.

El estudio de la producción de esta clase de cerámica en Los Villares de Andújar cuenta con excelsos, pero insuficientes trabajos (Choclán, 1984; Ruiz y Peinado, 2013: 164-170). Algo similar ocurre con el resto de yacimientos de esta zona geográfica. De esta manera, resulta inviable intentar si quiera trazar patrones decorativos que se repitan y que permitan hablar de tipos cerámicos de un carácter más amplio.

Siguiendo un poco la dinámica general, la producción de cerámica pintada de tradición ibérica recuperada de los vertederos del complejo alfarero de Los Villares de Andújar, parece circunscribirse a la primera fase productiva de los alfares isturgitanos. Es decir, una cronología que abordaría desde los años 50 al 75 d.C. (Ruiz y Peinado, 2013: 168) teniendo por otro lado un ámbito de difusión bastante reducido. En principio, y a expensas de la llegada de nuevos trabajos, el propio núcleo urbano y la campiña del Alto Guadalquivir. Un espacio, por tanto, que apenas trasciende lo puramente local.

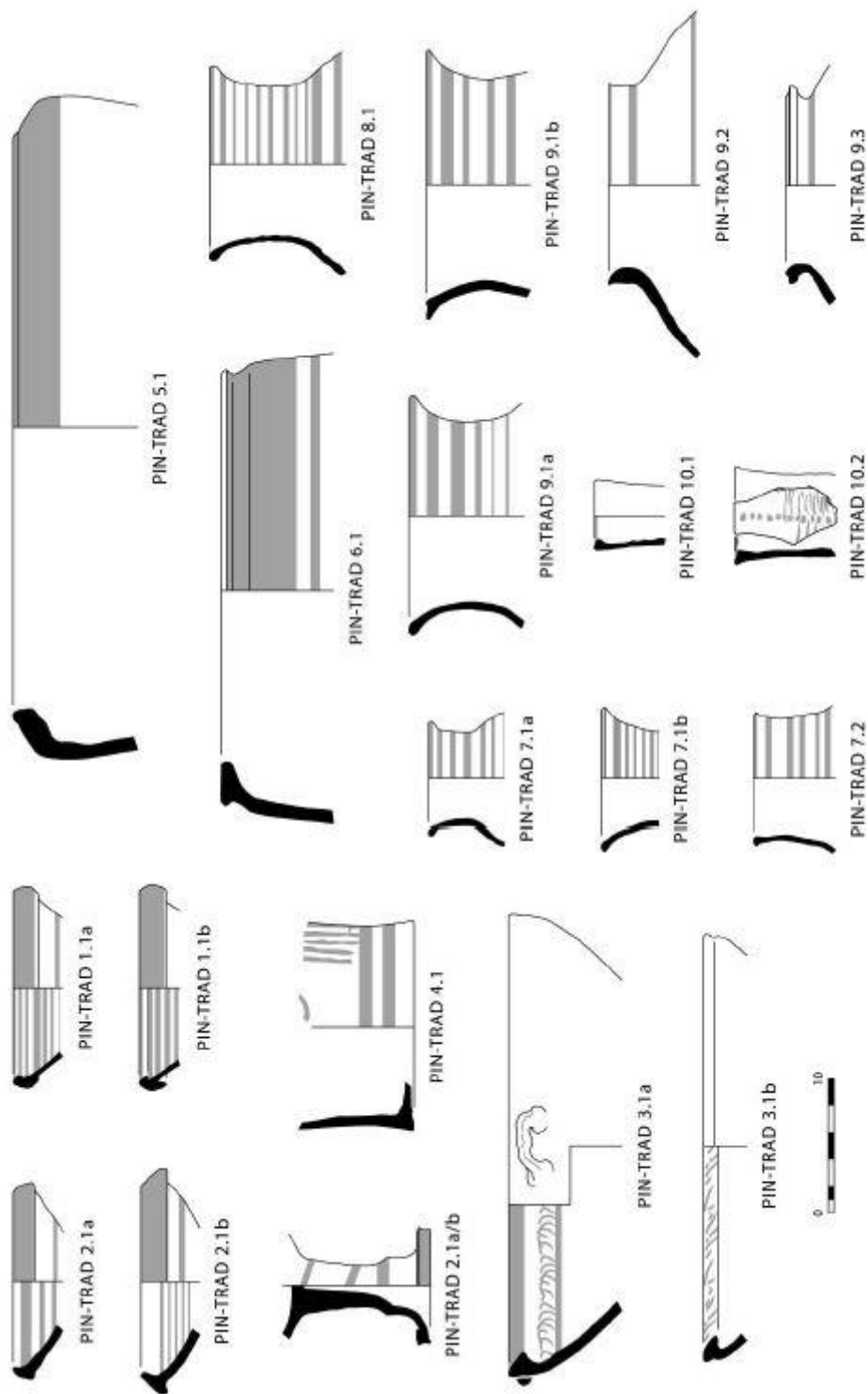


Fig. 2.—Tipología de las cerámicas puntadas de tradición ibérica de Los Villares de Andújar.

Figura 4.103. Propuesta tipológica de las cerámicas de tradición ibérica de Los Villares de Andújar (Ruiz y Peinado, 2013: 171).

En lo referente a las características de la cerámica propiamente dichas, esta presenta unas características bien definidas. En primer lugar, las pastas cerámicas son

habitualmente cocidas en ambiente oxidante y suelen presentar pastas bastante compactas, pero no excesivamente refinadas con de tonalidades beige o rosadas (Ruiz y Peinado, 2013: 164). Asimismo, la decoración es llevada a cabo con pincel múltiple y suele ser monocroma y eventualmente bicroma, con presencia de pigmentos blancos. Igualmente, en base a tres niveles jerárquicos como la forma, el tipo y las posibles variantes, se propuso un sistema de clasificación inicial de 15 tipos cerámicos (fig. 4.103) que permitiese registrar de forma más minuciosa aquellos fragmentos localizados.

En definitiva, la presencia de cerámica pintada de tradición ibérica en el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, es un claro testimonio de la existencia de una infraestructura productiva de gran fuerza y capaz de afrontar la fabricación de un conjunto de cerámicas tan amplio como meritorio en lo que a calidad se refiere.

4.5.1 Experimentación y análisis

Con el objetivo de tener una muestra representativa de la cerámica de tradición ibérica producida en el complejo alfarero de Los Villares de Andújar, sobre la que poder aplicar además técnicas de tratamiento de imagen como Dstretch, se decidió seleccionar un conjunto de 12 fragmentos con diverso grado de deterioro en su decoración cromática (fig. 4.102).

El objetivo consiste, en este caso, en la generación de modelos fotogramétricos con mapas de texturas modificados que permitan visualizar en tres dimensiones pigmentos y decoraciones previamente potenciadas. Tras esto, se valorará la utilidad de su aplicación a la hora de identificar aquellos motivos decorativos más erosionados y cuya visualización podría suponer problemas a simple vista.

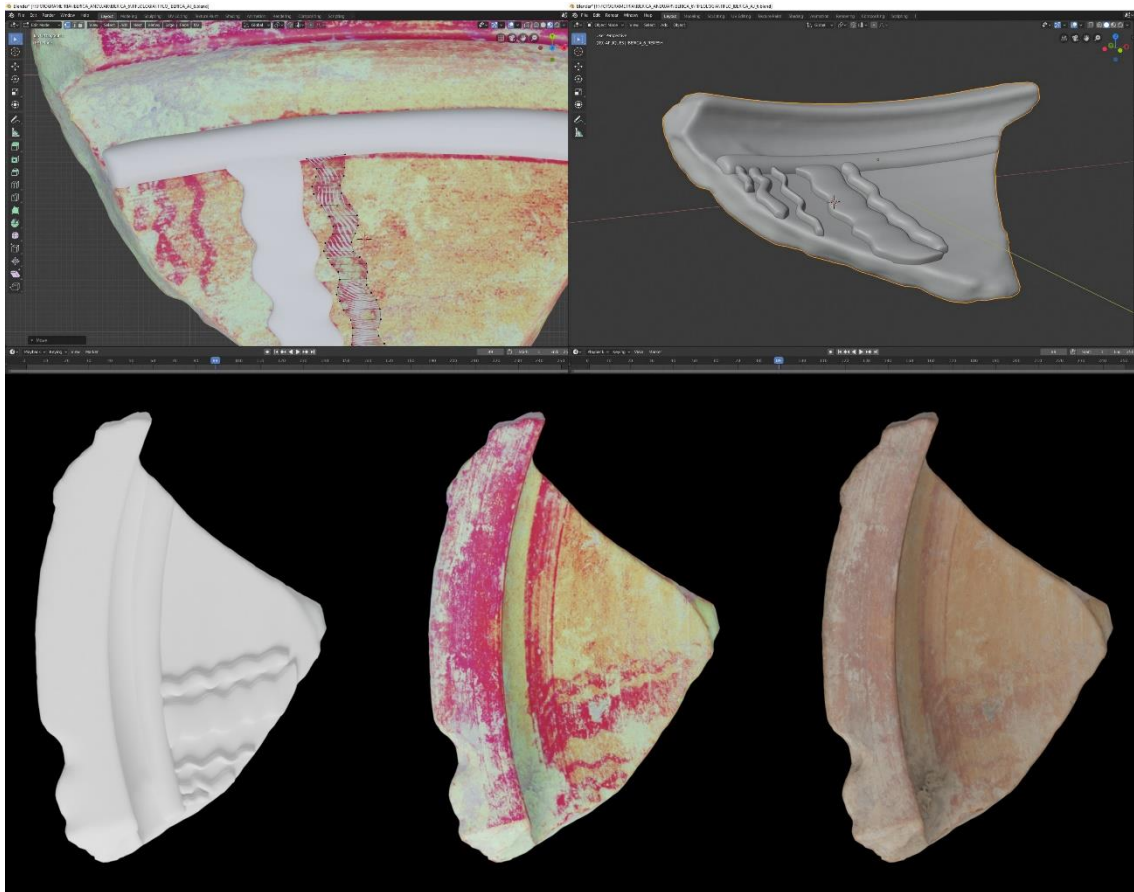


Figura 4.104. En la parte superior, el proceso de trabajo para la creación de los apliques de realce en el modelo fotogramétrico de la pieza de cerámica pintada de tradición ibéricas AJ6. El resultado final será un modelo uniforme con la decoración en relieve, que permitirá a personas ciegas percibir la disposición de la decoración. En la parte inferior, réplica tifológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo fotogramétrico de la pieza Nº 37 con la textura original (derecha).

Con estos modelos modificados, el trabajo en programas de edición como Blender resulta igualmente mucho más sencillo. Cara a la elaboración, en este caso, de réplicas tifológicas, trabajar con materiales tridimensionales permite disponer de forma mucho más precisa los apliques de realce de una decoración exclusivamente lisa (fig. 4.104). De esta manera, se obtienen modelos cuya decoración previa, originalmente lisa e imperceptible, se encuentra ahora en relieve y es perfectamente palpable.

4.5.2 Resultados

Siguiendo la misma dinámica que en caso anterior, los resultados obtenidos se desglosan a continuación pieza por pieza. Conviene aclarar que, por motivos de registro y para mantener una coherencia de formato a lo largo de la exposición de los resultados, las piezas han sido ordenadas y numeradas de forma correlativa usando un sistema diferente al de su registro o siglado original. No obstante, se incluye entre paréntesis y en caso de tenerlo su número de sigla original. Asimismo, aquellas piezas que no poseían ningún tipo de signatura o cuya lectura resultaba difícil se identificaron con las siglas S/N y el número correlativo en que se digitalizaron dentro de este conjunto.

Del mismo modo y con el fin de aportar la mayor transparencia posible a todo el proceso de captura, registro, y postprocesado, se decidió crear tanto una ficha como un reporte exhaustivo de cada uno de los modelos tridimensionales. En estos documentos que han sido pertinentemente incluidos en el apartado de anexos (Anexos 8.2.3), se pueden consultar aquellos datos más técnicos.

- PIEZA 37 (AJ6)

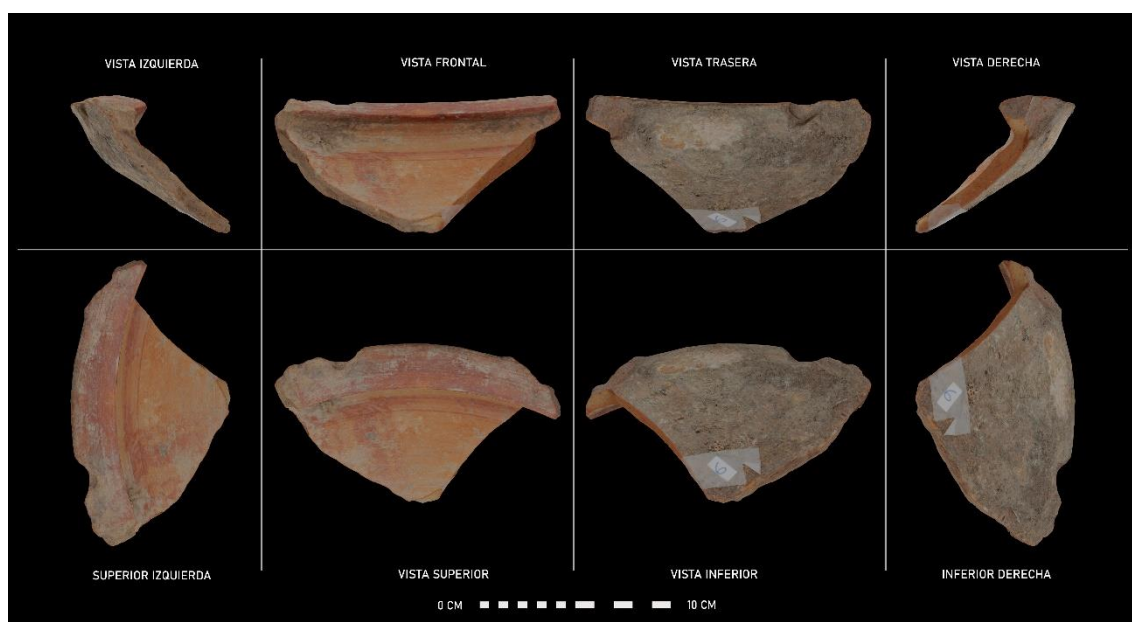
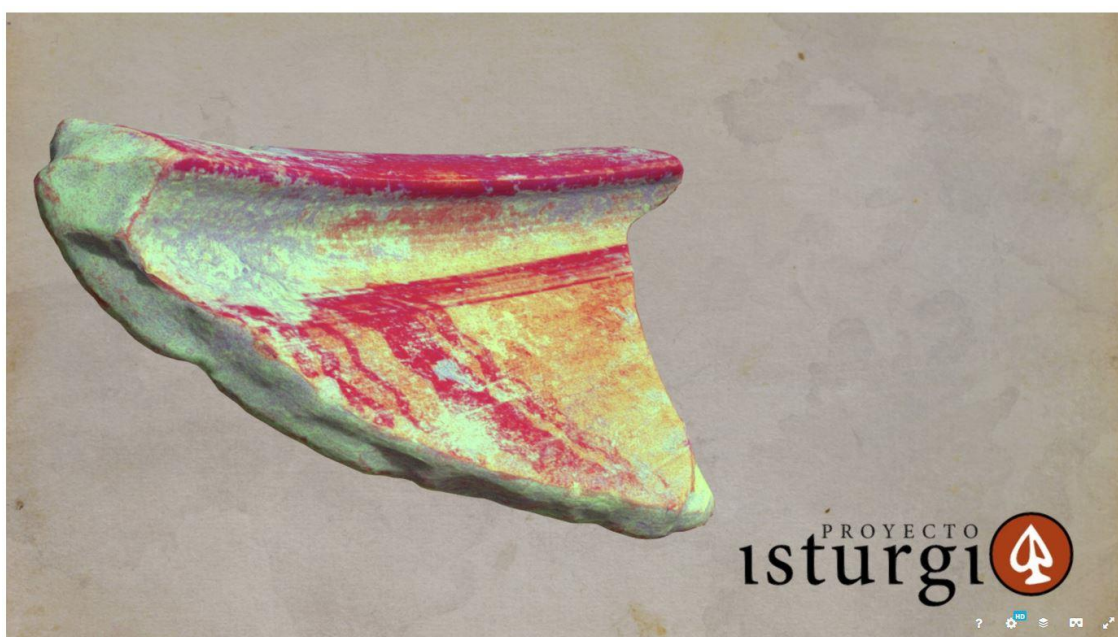


Figura 4.105. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 37 (AJ6). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica (I) procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza Nº 37 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. La pieza original poseía una etiqueta con el Nº 6, sin sigla adicional, por lo que es le reasigno la denominación secundaria de AJ6. El fragmento conserva parte del borde y la pared de lo que parece haber sido un lebrillo de paredes curvas (PINT-TRAD 3.1.a o PINT-TRAD 3.1.b según tipos identificados por Ruiz y Peinado (2013: 166 y fig. 4.100). La pasta cerámica presenta una tonalidad beige rojiza en este caso. La decoración, algo deteriorada, es monocroma rojiza (fig. 4.105).



Cerámica Pintada de Tradición Ibérica AJ6
3D Model

Figura 4.106. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza Nº 37 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/fee5b35f8d3349c09f2533daaa7dc718> [última visita: 26/10/19].

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch la decoración aparece mucho más claramente (fig. 4.106). El color, que parece haber sido poco denso originariamente, se dispone en motivos geométricos simples. Concretamente, bandas anchas de color rojizo en el borde y motivos ondulados verticales que caen por la pared interna.

Mediante el uso del modelo tridimensional tratado con Dstretch se creó una réplica tiflológica generando resaltes digitales en Blender (fig. 4.104). De forma adicional, el

modelo adaptado fue segmentado mediante el *software* Ultimaker Cura, generando así un archivo compatible con dispositivos de impresión 3D (fig. 4.107).

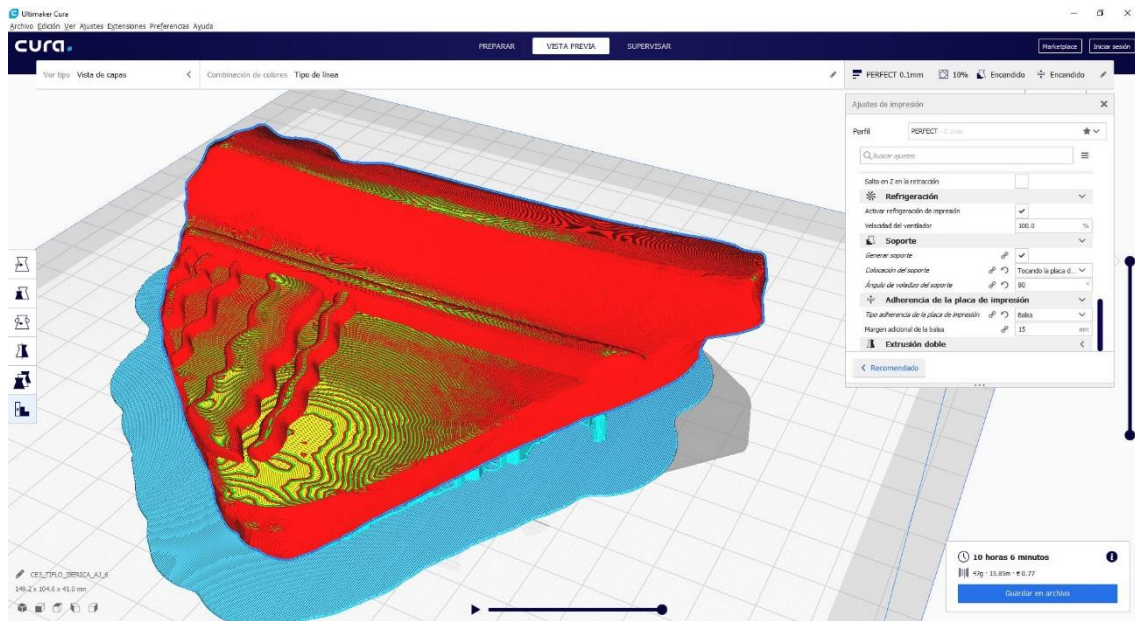


Figura 4.107. Modelo segmentado de la réplica tifológica de la pieza Nº 37 realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 38 (AJ4615)



Figura 4.108. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 38 (AJ4615). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza Nº 38 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. La pieza original fue registrada como AJ4615. El fragmento conserva parte del borde, un asa completa y la pared de lo que parece haber sido un lebrillo de paredes curvas (PINT-TRAD 3.1.a o PINT-TRAD 3.1.b según tipos identificados por Ruiz y Peinado (2013: 166 y fig. 4.100). La tonalidad de la pasta cerámica es beige amarillenta. Por otro lado, la decoración, algo deteriorada, es monocroma rojiza (fig. 4.108).

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch esta aparece mucho más claramente (fig. 4.109). El color, que parece haber sido poco denso originariamente, se dispone en motivos geométricos simples: bandas anchas de color rojizo en el borde y pared interna, con algunas manchas, no intencionales probablemente, en el asa o lazo adosado.

En este caso, y dado que la disposición de la decoración era bastante sencilla, se decidió no crear réplica tiflológica alguna. De igual forma, tampoco se procesó el modelo adaptado para su impresión 3D.



 Cerámica Pintada de Tradición Ibérica AJ4615
3D Model

Figura 4.109. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza Nº 38 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/1404a4e92c3b41e0832d28a05354cf16> [última visita: 26/10/19].

- PIEZA 39 (AJ7416)

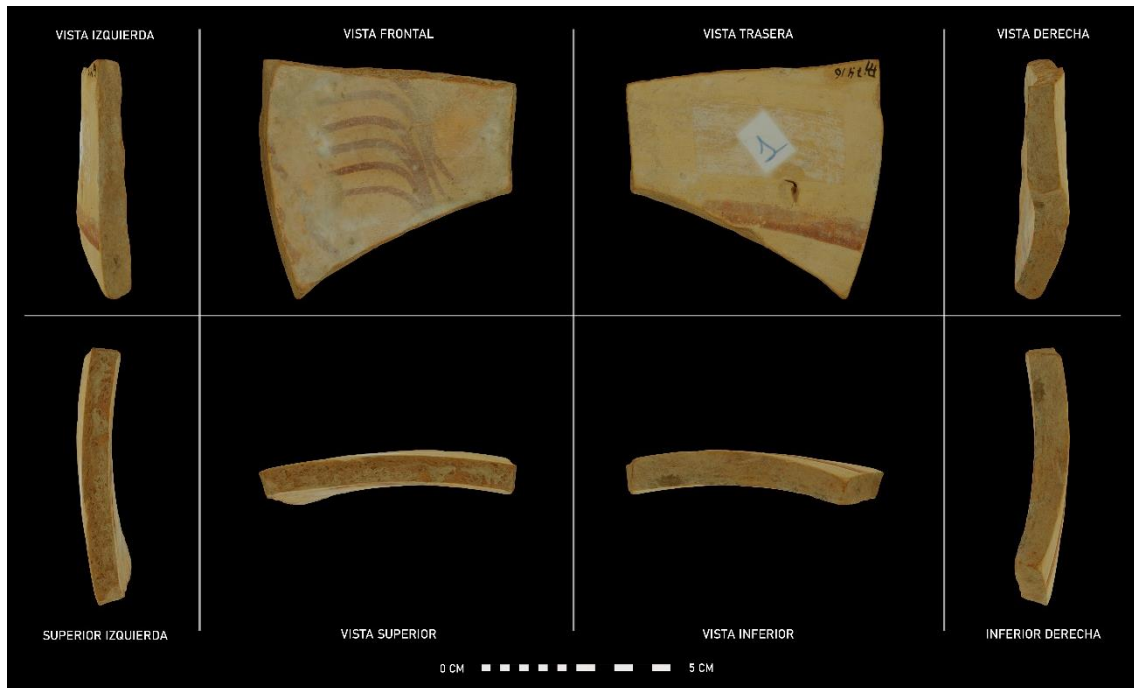
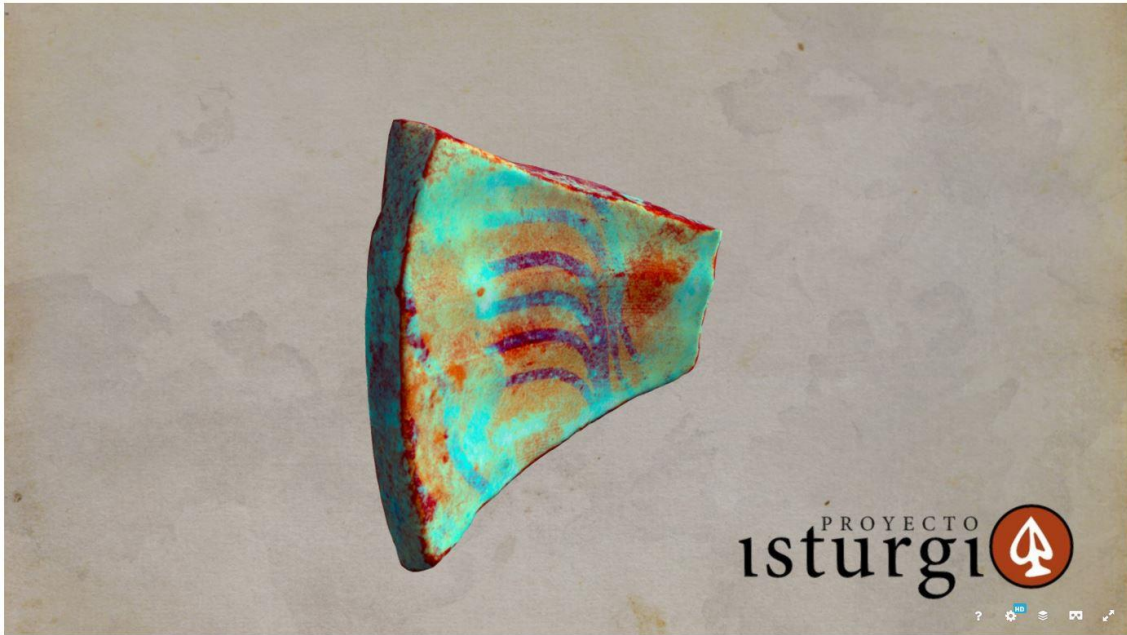


Figura 4.110. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 39 (AJ7416). del fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza N° 39 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. La pieza fue registrada originalmente como AJ7416. El fragmento conserva solo parte de la pared, por lo que resulta complejo atribuirlo a alguna tipología específica (Ruiz y Peinado, 2013: 166 y fig. 4.100). La pasta cerámica presenta una tonalidad beige ligeramente amarillenta. La decoración por su parte, que se encuentra algo deteriorada, es monocroma rojiza (fig. 4.110).

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch esta aparece mucho más claramente (fig. 4.111). El color, parece ser algo más denso y se dispone en motivos arboriformes o de espiga (Ruiz y Peinado, 2013: 164).



 Cerámica Pintada de Tradición Ibérica AJ7416
3D Model

Figura 4.111. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 39 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d21947618eef4289ab64ff5b8857d312> [última visita: 26/10/19].

Mediante el uso del modelo tridimensional tratado con Dstretch se creó una réplica tifológica generando resaltes digitales en Blender (fig. 4.114). De forma adicional, el modelo adaptado fue segmentado mediante el *software* Ultimaker Cura, generando así un archivo compatible con dispositivos de impresión 3D (fig. 4.115).

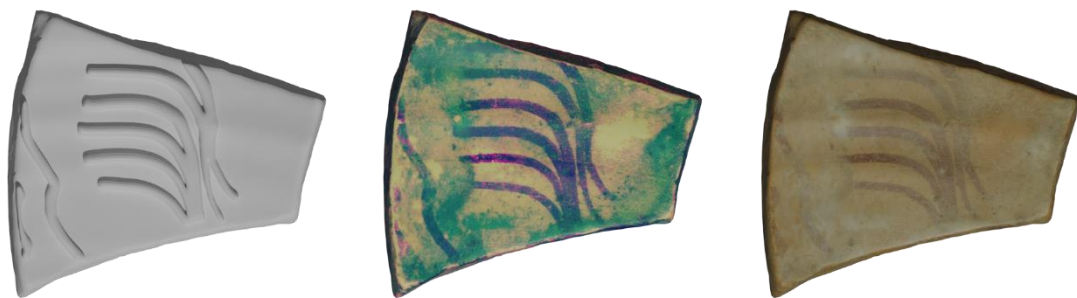


Figura 4.112. Réplica tifológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo original (derecha) de la pieza N° 39.

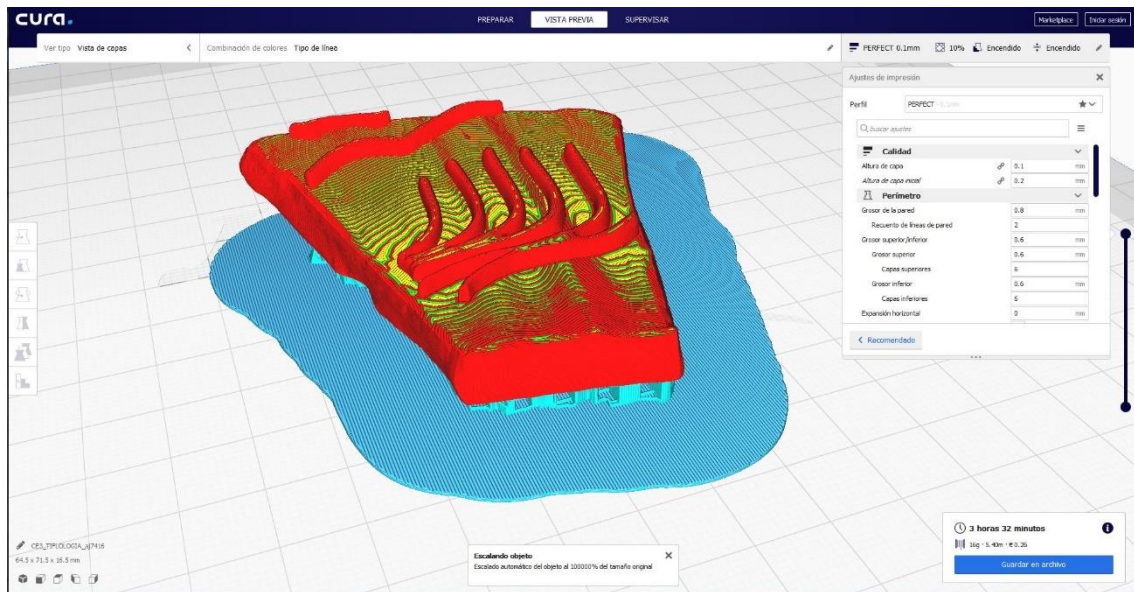


Figura 4.113. Modelo segmentado de la réplica tifológica de la pieza Nº 39 realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 40 (AJ7418)



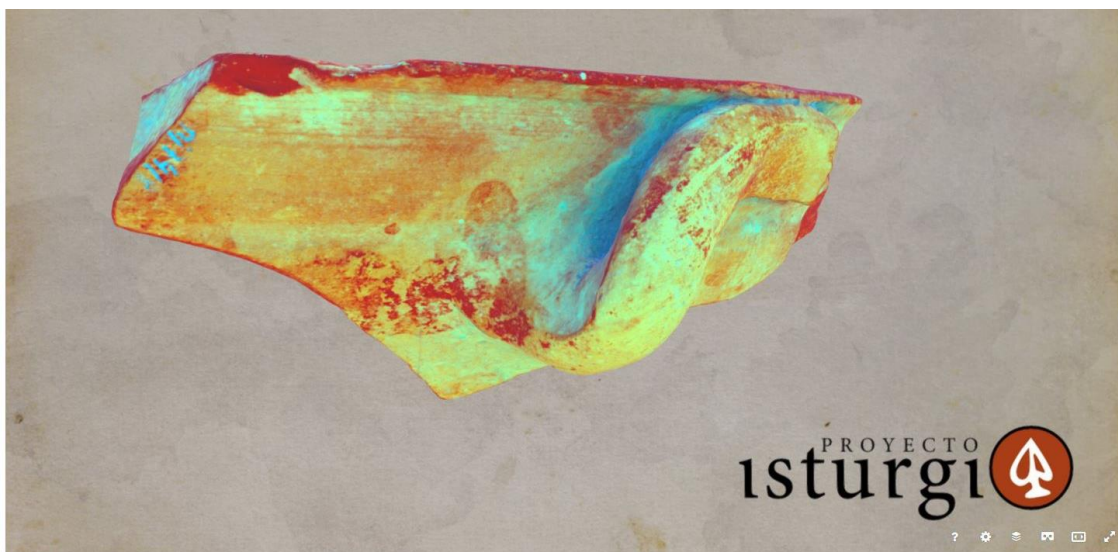
Figura 4.114. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 40 (AJ7418). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza Nº 40 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. La pieza fue registrada

originalmente como AJ7418. El fragmento conserva parte del borde, un asa completa y la pared de lo que parece haber sido un lebrillo de paredes curvas (PINT-TRAD 3.1.a o PINT-TRAD 3.1.b según tipos identificados por Ruiz y Peinado (2013: 166 y fig. 4.100). La pasta cerámica presenta una tonalidad beige amarillenta y su decoración, algo deteriorada, es monocroma rojiza (fig. 4.114).

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch el despliegue de esta se aprecia con mayor claridad, al igual que el grado de densidad de la pintura (fig. 4.115), algo diluida en este caso. La decoración se dispone en motivos geométricos simples: bandas anchas o filetes de color rojizo en el borde y la pared interna, con algunas manchas, no intencionales probablemente, en el asa o lazo adosado.

Como ocurría con la pieza 38, dado que la disposición de la decoración era bastante sencilla, no era necesario crear una réplica tifológica en este caso. Por este motivo, tampoco se procesó el modelo adaptado para su impresión 3D.



 Cerámica Pintada de Tradición Ibérica AJ7418
3D Model

Figura 4.115. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 40 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/a7a6b029d9f04d3d9e69c26f61d6f0dd> [última visita: 26/10/19].

- PIEZA 41 (AJ7456)

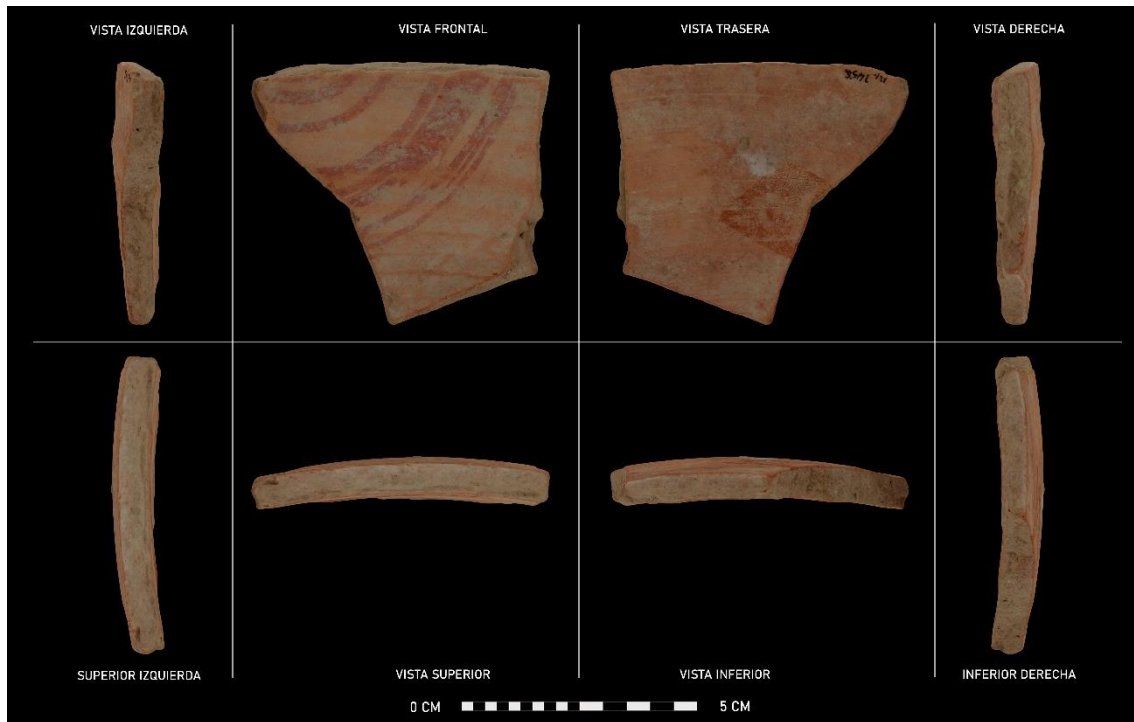
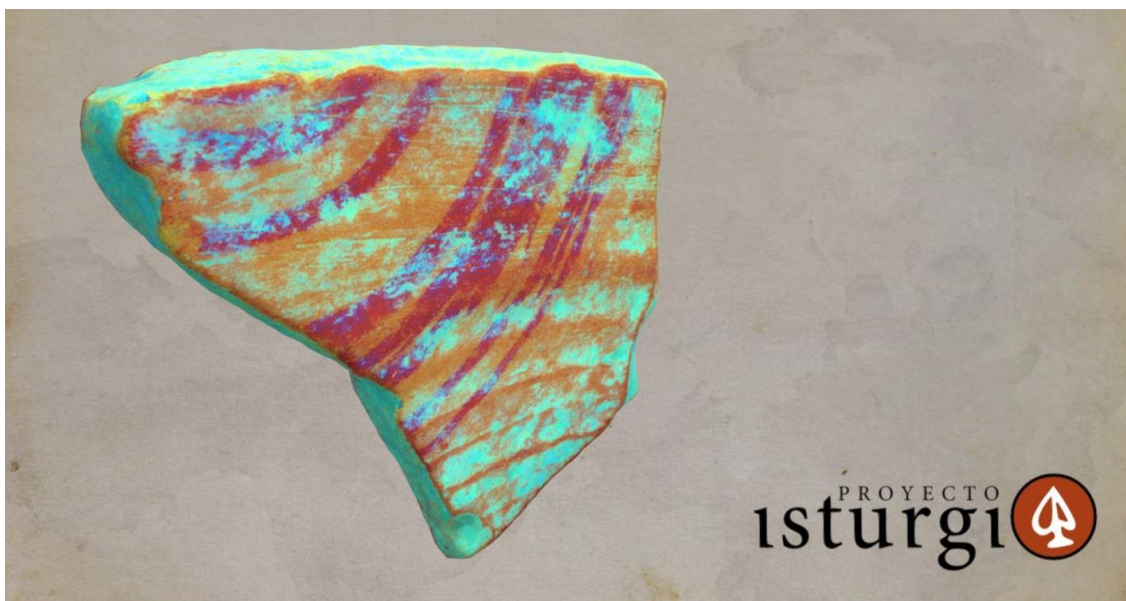


Figura 4.116. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 41 (AJ7456). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza N° 41 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. La pieza original fue registrada como AJ7456. El fragmento conserva solo parte de la pared, por lo que resulta complejo atribuirlo a alguna tipología específica (Ruiz y Peinado, 2013: 166 y fig. 4.100). La pasta cerámica presenta una tonalidad beige rojiza. Por su parte, la decoración, algo deteriorada, es monocroma rojiza y con una densidad intermedia (fig. 4.116).

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch esta aparece mucho más claramente (fig. 4.117). La decoración parece disponerse en espiral, dado que presenta demasiada irregularidad en el trazo para tratarse de círculos o semicírculos concéntricos (Ruiz y Peinado, 2013: 164).



🔗 Cerámica Pintada de Tradición Ibérica AJ7456
ID Model

Figura 4.117. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 41 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/6118af4174d04d15a8c3a0c0f2344895> [última visita: 26/10/19].

Mediante el uso del modelo tridimensional tratado con Dstretch se creó una réplica tiflológica generando resaltes digitales en Blender (fig. 4.118). De forma adicional, el modelo adaptado fue segmentado mediante el *software* Ultimaker Cura, generando así un archivo compatible con dispositivos de impresión 3D (fig. 4.119).

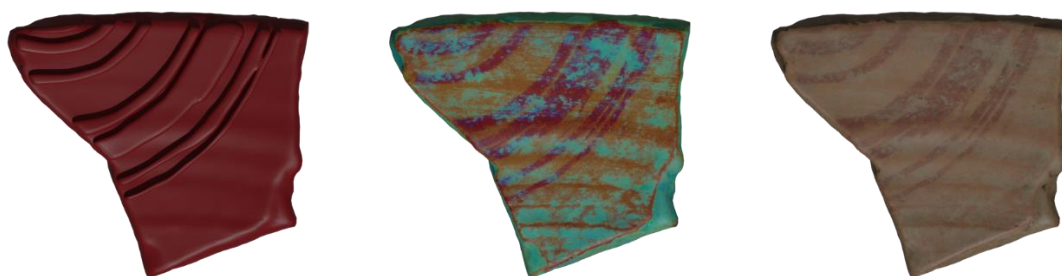


Figura 4.118. Réplica tiflológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo original (derecha) de la pieza N° 41.

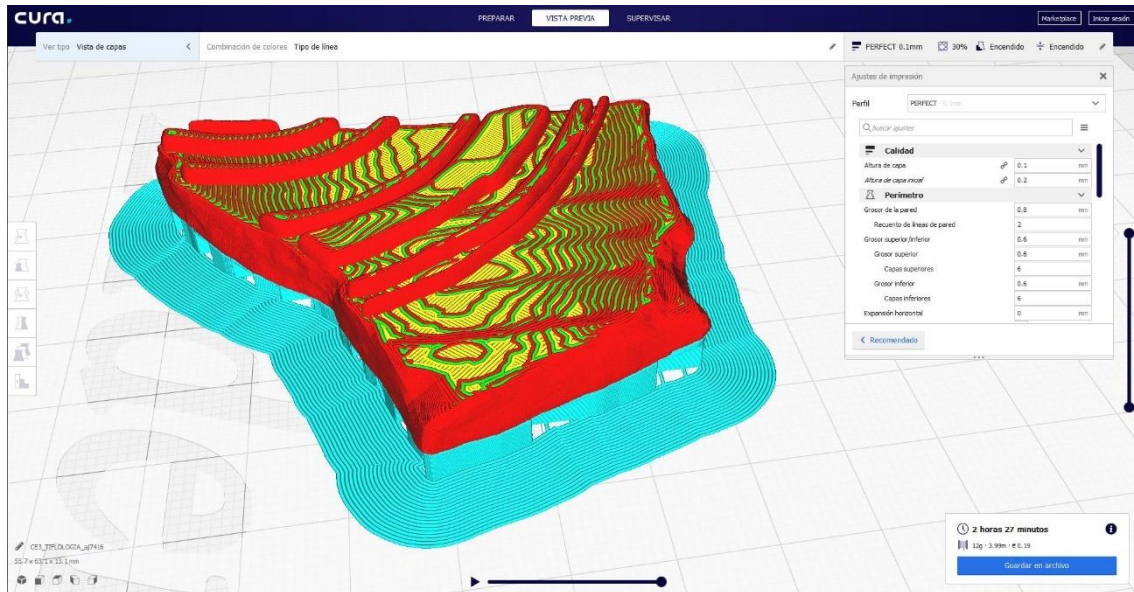


Figura 4.119. Modelo segmentado de la réplica tifológica de la pieza N° 41 realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 42 (AJ7490)

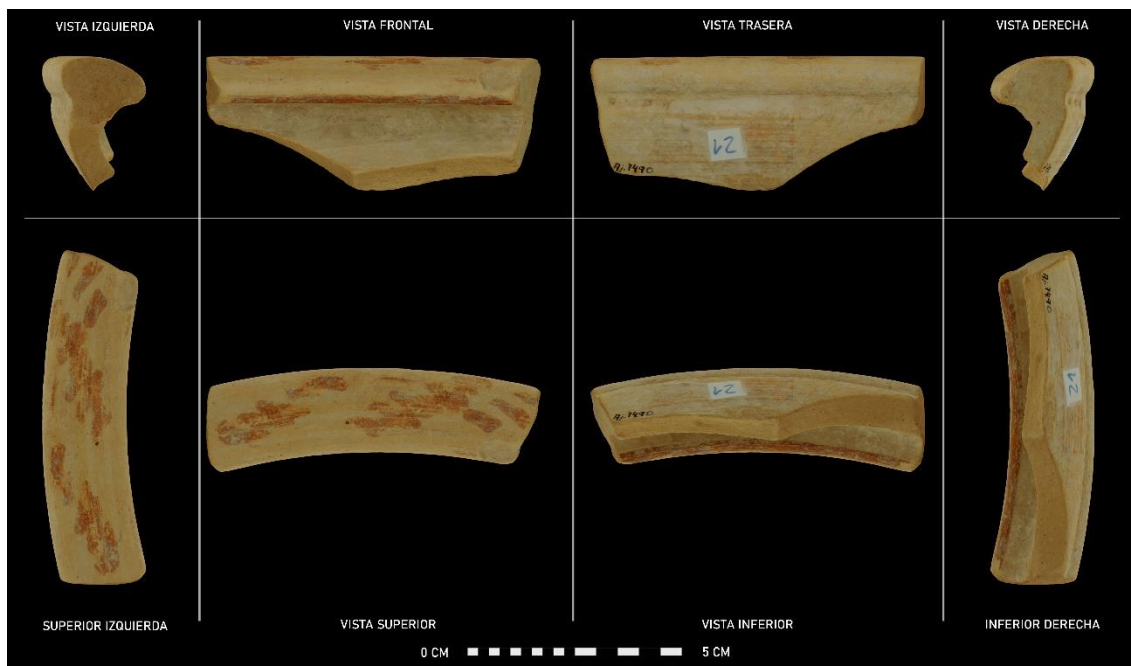


Figura 4.120. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 42 (AJ7490). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza N° 42 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. Originalmente, la pieza

original fue como AJ7490. La pieza conserva parte del borde y la pared de lo que probablemente sea un lebrillo de paredes curvas (PINT-TRAD 3.1.a o PINT-TRAD 3.1.b según tipos identificados por Ruiz y Peinado (2013: 166 y fig. 4.100). La pasta cerámica presenta una tonalidad amarillenta. La decoración por su parte se encuentra algo deteriorada y es monocroma rojiza (fig. 4.120).

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch el despliegue de esta se aprecia con mayor claridad, al igual que el grado de densidad de la pintura (fig. 4.121), algo diluida en este caso. La decoración se dispone en motivos geométricos simples: bandas anchas o filetes de color rojizo en el borde, que se combinan con motivos de trazos o pinceladas cortas. La pared interna, en este caso, no parece conservar ningún tipo de decoración.



[Cerámica Pintada de Tradición AJ7490](#)
3D Model

Figura 4.121. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 42 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/9a80b1deeb4d4252867e23bba2fc7468> [última visita: 26/10/19].

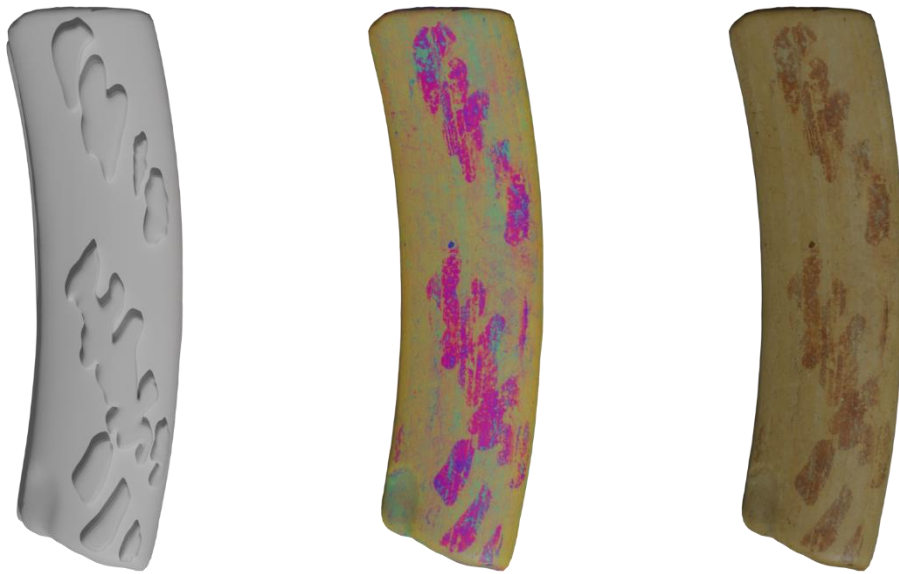


Figura 4.122. Réplica tifológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo original (derecha) de la pieza N° 42.

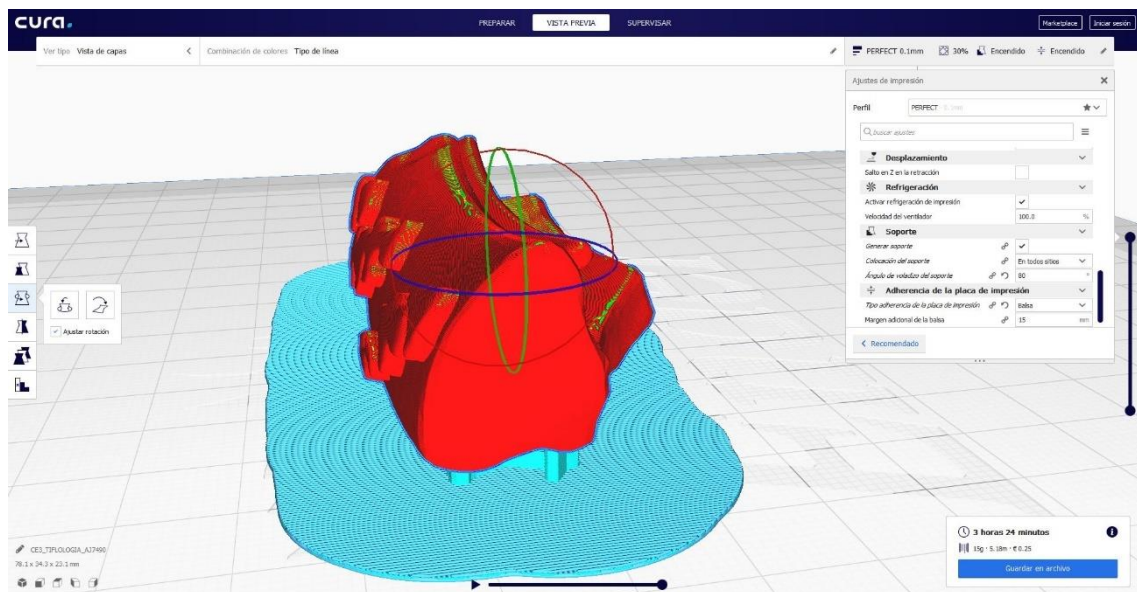


Figura 4.123. Modelo segmentado de la réplica tifológica de la pieza N° 42 realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

Mediante el uso del modelo tridimensional tratado con Dstretch se elaboró una réplica tifológica generando resaltes digitales en Blender (fig. 4.122). De forma adicional, el modelo adaptado fue segmentado mediante el *software* Ultimaker Cura, generando así un archivo compatible con dispositivos de impresión 3D (fig. 4.123).

- PIEZA 43 (AJ7560)

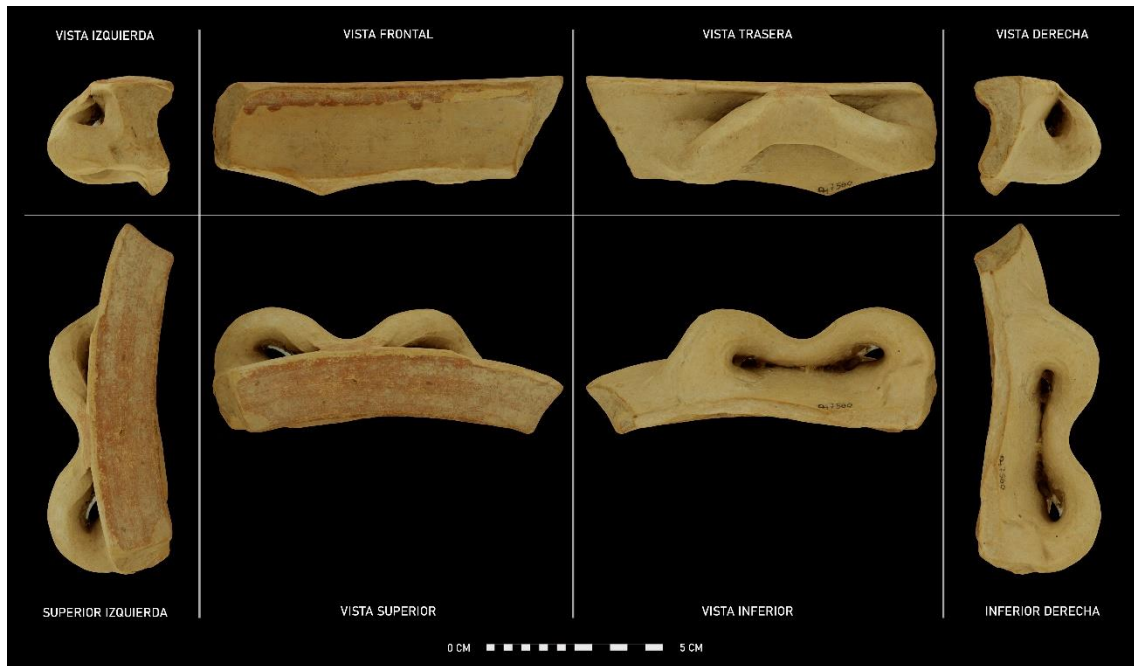
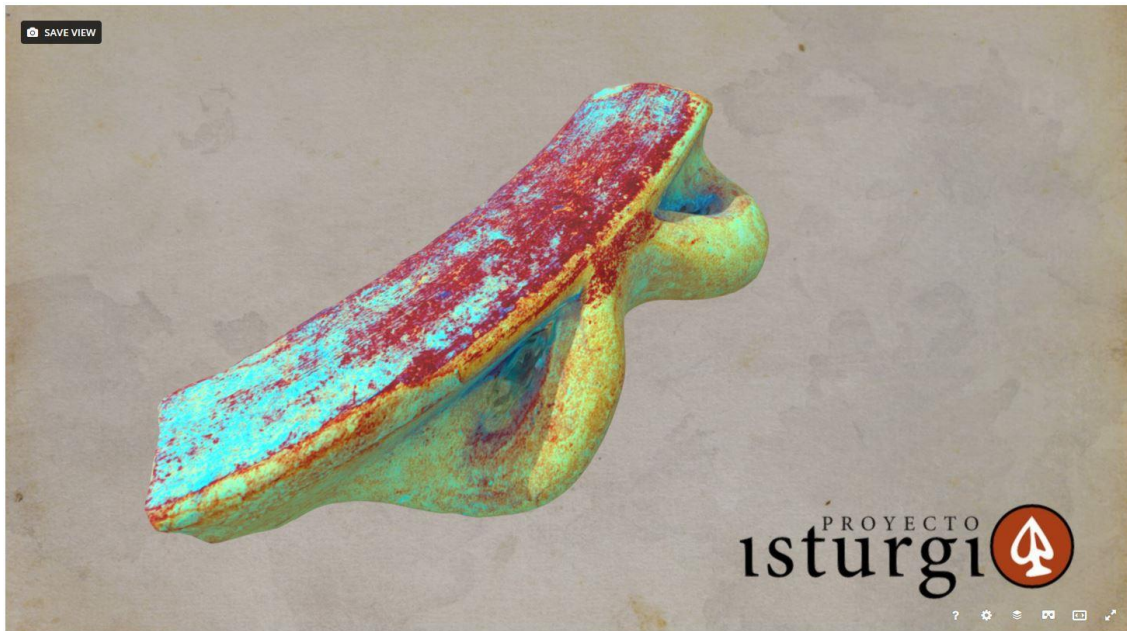


Figura 4.124. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 43 (AJ7560). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza N° 43 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. Originalmente, la pieza fue siglada como AJ7560. El fragmento conserva parte del borde, un asa completa y la pared de lo que parece haber sido un lebrillo de paredes curvas (PINT-TRAD 3.1.a o PINT-TRAD 3.1.b según tipos identificados por Ruiz y Peinado (2013: 166 y fig. 4.100). La pasta cerámica presenta una tonalidad beige amarillenta. La decoración por su parte se encuentra algo deteriorada y es monocroma rojiza (fig. 4.124).

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch el despliegue de esta se aprecia con mayor claridad, al igual que el grado de densidad de la pintura (fig. 4.125), algo diluida en este caso. La decoración se dispone en motivos geométricos simples: bandas anchas o filetes de color rojizo en el borde y la pared interna, con algunas manchas, no intencionales probablemente, en el asa o lazo adosado.

Como ocurría con las piezas 38 y 40, dado que la disposición de la decoración era bastante sencilla, no era necesario crear una réplica tiflológica en este caso. Por este motivo, tampoco se procesó el modelo adaptado para su impresión 3D.



 Cerámica Pintada de Tradición Ibérica AJ7560
3D Model

Figura 4.125. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza Nº 43 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/cb6ae3d2bfa94b9a81e5351df3e67a73> [última visita: 26/10/19].

- PIEZA 44 (AJ7560_2)



Figura 4.126. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 44 (AJ7560_2) del fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza Nº 44 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar. Originalmente, la pieza se registró como AJ7560, no obstante, dado que ya existía una pieza con dicha sigla incluida en la selección, esta pasó a denominarse como AJ7560_2. Esta pieza conserva parte del borde y la pared de lo que probablemente sea un lebrillo de paredes curvas (PINT-TRAD 3.1.a o PINT-TRAD 3.1.b según tipos identificados por Ruiz y Peinado (2013: 166 y fig. 4.100). La pasta cerámica presenta una tonalidad beige con algunos matices más rojizos. La decoración por su parte se encuentra algo deteriorada y es monocroma rojiza (fig. 4.126).

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch el despliegue de esta se aprecia con mayor claridad, al igual que el grado de densidad de la pintura (fig. 4.127), algo diluida en los anchos filetes que aparecen en el borde, pero bastante densa en el caso de los semicírculos concéntricos que penden de ellos.



Cerámica Pintada de Tradición Ibérica AJ7560/2
3D Model

Figura 4.127. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 44 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/8d3b12022db045c3a3d561dbad19412e> [última visita: 26/10/19].



Figura 4.128. Réplica tifológica de la pieza N° 44.

Mediante el uso del modelo tridimensional tratado con Dstretch se elaboró una réplica tifológica generando resaltes digitales en Blender (fig. 4.128). De forma adicional, el

modelo adaptado fue segmentado mediante el *software* Ultimaker Cura, generando así un archivo compatible con dispositivos de impresión 3D (fig. 4.129).

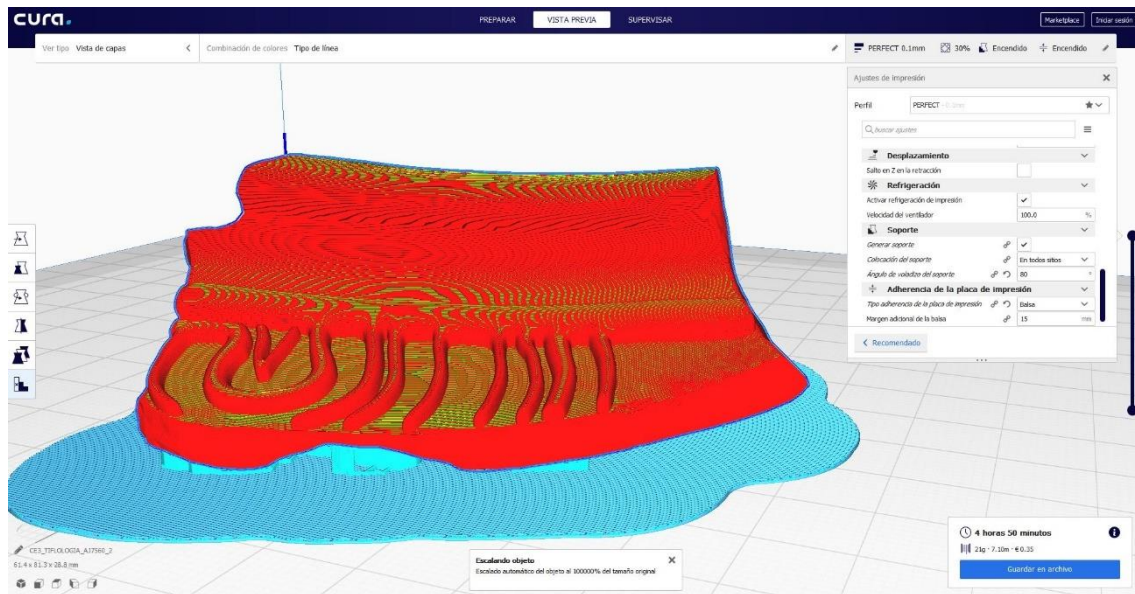


Figura 4.129. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza N° 44 realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

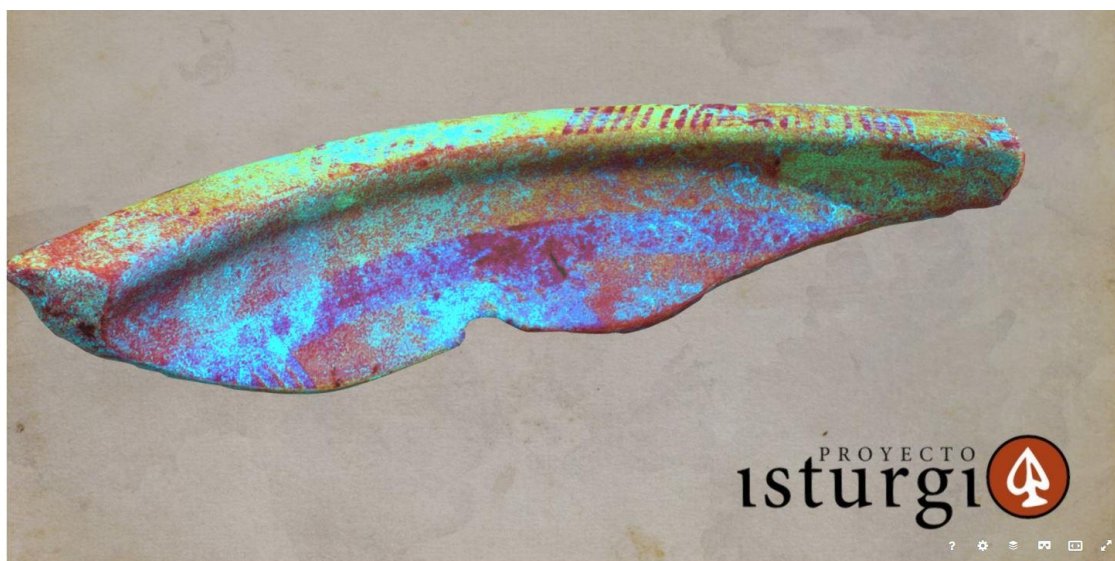
- PIEZA 45 (S/N 1)



Figura 4.130. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 45 (S/N1). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza Nº 45 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedentes del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (fig. 4.130). La pieza original no presentaba ningún tipo de identificación por lo que se denominó SN/1. Esta pieza conserva parte del borde, la pared y un asa completa de lo que probablemente sea un lebrillo de paredes curvas (PINT-TRAD 3.1.a o PINT-TRAD 3.1.b según tipos identificados por Ruiz y Peinado (2013: 166 y fig. 4.100). La decoración, algo deteriorada, es monocroma rojiza. Su estado de conservación es deficiente.

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch el despliegue de esta se aprecia con mayor claridad, al igual que el grado de densidad de la pintura (fig. 4.131). La parte superior del borde tiene una decoración a base de motivos geométricos complejos. Líneas oblicuas en este caso. Por otro lado, en la pared interna se intuye lo que parece ser un filete con semicírculos que penden de él.



 Cerámica Pintada de Tradición Ibérica SN1

Figura 4.131. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza Nº 45 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/55963d2923fd415bbac4a72d1dee3fd8> [última visita: 26/10/19].

Mediante el uso del modelo tridimensional tratado con Dstretch se elaboró una réplica tiflológica generando resaltes digitales en Blender (fig. 4.132). De forma adicional, el modelo adaptado fue segmentado mediante el *software* Ultimaker Cura, generando así un archivo compatible con dispositivos de impresión 3D (fig. 4.133).

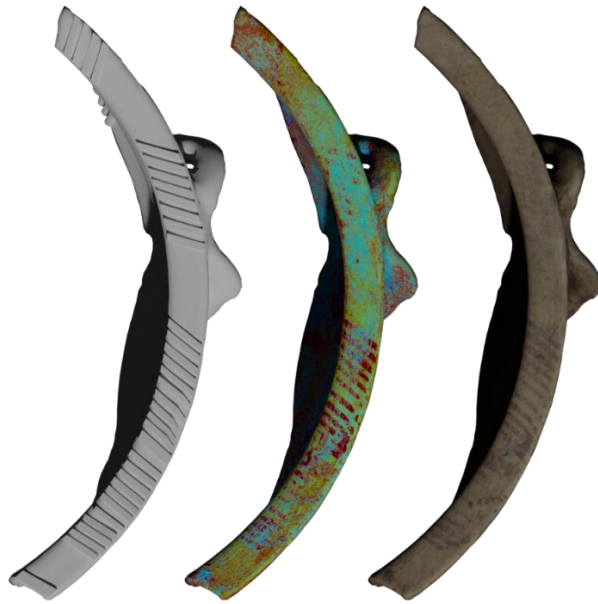


Figura 4.132. Réplica tiflológica de la pieza N° 45.

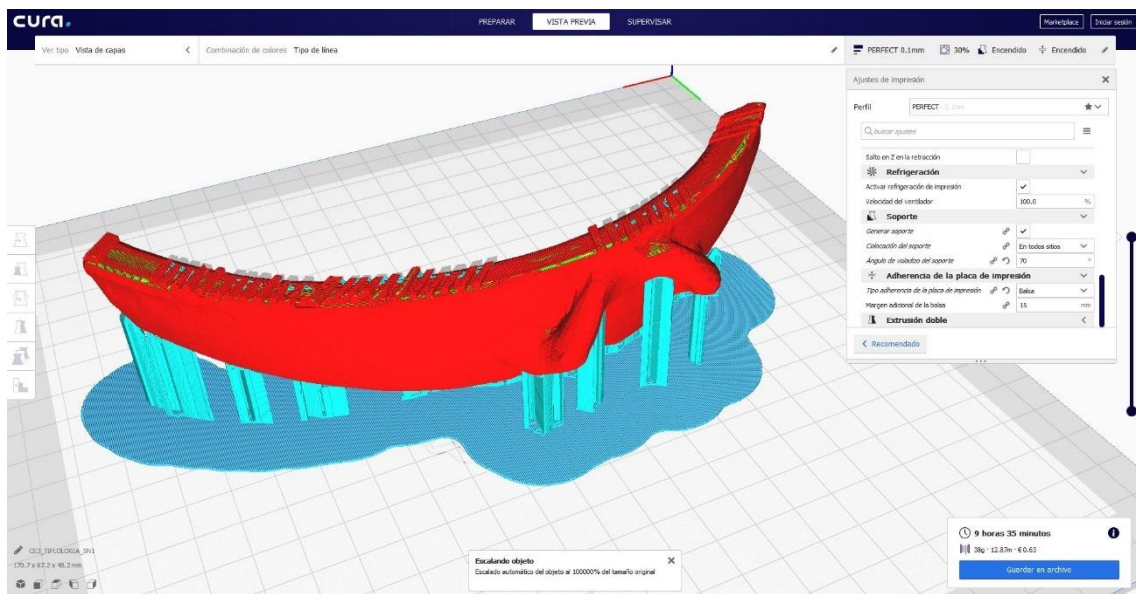


Figura 4.133. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza N° 45 realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 46 (S/N 2)



Figura 4.134. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 46 (S/N 2). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar (Jaén, España).

La pieza Nº 46 corresponde a un fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente del complejo alfarero de Los Villares de Andújar (fig. 4.134). Dado que la pieza original no presentaba ningún tipo de referencia se denominó SN/2, siguiendo el sistema de registro empleado en la tesis. Se trata del fragmento de un asa de tonalidad beige y que conserva parte de su decoración rojiza. Su estado de conservación era bastante deficiente.

Tras la aplicación del filtro LRE y LRD de Dstretch el despliegue de esta se aprecia con mayor claridad, al igual que el grado de densidad de la pintura (fig. 4.135). La parte superior del borde tiene una decoración a base de motivos geométricos simples. En este caso lo que parecen bandas anchas horizontales que se concentran en la zona más externa del asa.

Dado que la decoración es bastante sencilla, se estimó que no era necesario crear una réplica tiflológica en este caso. Del mismo modo, tampoco se procesó el modelo adaptado para su impresión 3D.



Figura 4.135. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza Nº 46 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el *plugin* de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c0ab8cc0b3ed4383841f4d3c80abb9ad> [última visita: 26/10/19]).

En resumen, y tras la aplicación del *plugin* Dstretch (Harman, 2005) sobre todos los modelos que componen la selección de cerámicas pintadas de tradición ibérica procedente de Los Villares de Andújar, se podría concluir:

1. En primer lugar, como la adaptación de este tipo de tratamiento de imagen mediante decorrelación, sobre un marco tridimensional en este caso, supone importantes ventajas frente a las limitaciones del sistema anterior anclado en la mera bidimensionalidad. Concretamente, y a pesar de que el grado de deterioro de los pigmentos no era excesivo, su uso ha permitido profundizar en el análisis y la distribución decorativa de las cerámicas pintadas de tradición ibérica analizadas.
2. En segundo lugar, y derivado del punto anterior, esta nueva forma de análisis en formato 3D resulta idónea si lo que se desea es producir réplicas tiflológicas adaptadas

a personas con algún grado de hipovidencia o invidencia. El modelado digital en plataformas como Blender, donde es posible dar relieve a decoraciones pintadas planas, se ve ampliamente beneficiado por el uso de mapas de texturas modificados en Dstretch. De esta forma, resulta mucho más sencillo identificar y colocar estos apliques o resaltes digitales sobre el trazado decorativo potenciado de cada una de las piezas.

3. Es por ello que, la creación de estas colecciones adaptadas, se convierte en una forma idónea de acercar el patrimonio a personas con diversos grados de discapacidad. A este respecto, el abaratamiento y la cada vez mayor facilidad de uso de las nuevas tecnologías de impresión 3D, suponen un auténtico punto de inflexión. Por su impacto social, y en aras de una accesibilidad cada vez mayor, estas nuevas dinámicas metodológicas deberían convertirse en una de las líneas de trabajo más importantes en el futuro de la gestión patrimonial. Su potencial es, sin duda alguna, una nueva vía por explorar.

4. Por último, la exploración de modelos fotogramétricos en tres dimensiones podría ser una alternativa viable para la ejecución de trabajos conducentes a la toma y análisis de pigmentos. En modelos previamente escalados, y mediante la aplicación de los diferentes filtros de color, es posible conocer, con precisión submilimétrica, la zona concreta donde se ha de extraer la muestra de un pigmento específico. Esto, sin duda alguna, podría ser una herramienta interesante a la hora de mejorar y acelerar este tipo de procedimientos analíticos.

4.6 El patrimonio arqueológico prehispánico I. Colección SAS Yucatán



Figura 4.136. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas que conforman la colección de la SAS Yucatán.

Durante la redacción del capítulo III de la presente tesis se han explorado los beneficios derivados de la fotogrametría *SfM*. A este respecto, una de sus principales ventajas de esta es, precisamente, su alto grado de adaptabilidad. Dicha realidad puede traducirse en que la técnica fotogramétrica es perfectamente aplicable a disciplinas, contextos y materiales completamente diferentes. En un campo como es la Arqueología donde, de forma frecuente, se abordan realidades completamente diferentes, esto supone una interesante variable.

Con el desarrollo de este cuarto capítulo se pretende, precisamente, enfatizar esta dinámica. En efecto, durante el subapartado anterior se mostraban los resultados obtenidos de aplicar la fotogrametría multimagen, así como las herramientas de análisis y postproceso que de ella derivan, sobre un conjunto de materiales arqueológicos recuperados del complejo alfarero de época romana de Los Villares de Andújar (Jaén,

España). En este nuevo subapartado se tratará de hacer lo propio sobre materiales de procedencia, época y naturaleza completamente diferente. Para ello hemos de desplazarnos al ámbito mesoamericano.

Los artefactos arqueológicos de este subapartado forman parte de dos intervenciones arqueológicas diferentes. Ambas llevadas a cabo por la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia (SAS-INAH).

Las piezas digitalizadas proceden de diferentes contextos subacuáticos ubicados entre los estados mexicanos de Campeche, Yucatán y Quintana, e integrados dentro de dos grandes proyectos. Por un lado, el *Proyecto Cueva de la Quebrada* de 1987 y, por otro, el *Proyecto Atlas Arqueológico Subacuático* de 2002.

Igualmente, es necesario aclarar que, aunque se llevaron a cabo reconstrucciones puntuales en algunas de las piezas de la colección, la integridad y el grado de conservación de las mismas se convirtió en un elemento esencial a la hora de seleccionarlas. De este modo, la colección la componen un total de siete piezas cuyos estados de conservación son generalmente buenos.

Las tres primeras piezas presentadas en este subapartado corresponden a la intervención arqueológica realizada en 1987 en la Cueva sumergida de la Quebrada, ubicada en la Isla de Cozumel a algunos kilómetros mar adentro de la costa de Norte de Quintana Roo. En este caso, se trata de una intervención arqueológica prácticamente de urgencia motivada por la depredación patrimonial que se llevaba a cabo en la zona por parte de buzos profesionales. Por este motivo, la documentación referente a la misma podría tildarse de escueta. No obstante, a diferencia del resto de elementos que componen esta colección, al proceder de un único y restringido contexto, las tres piezas rescatadas de esta cueva sumergida presentan una homogeneidad cronológica y cultural mucho mayor.

Por otro lado, la segunda intervención arqueológica corresponde a una segunda campaña de trabajos enmarcados dentro del Proyecto Atlas Arqueológico Subacuático para el Registro, Estudio y Protección de los Cenotes en la Península de Yucatán. En este

caso, realizados durante el año 2002. Del mismo modo que ocurría con la intervención en la Cueva de la Quebrada, la dirección y ejecución recayó sobre la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH (González *et al.*, 2004: 5-60; Suárez y Kriebel, 2004: 1-40).

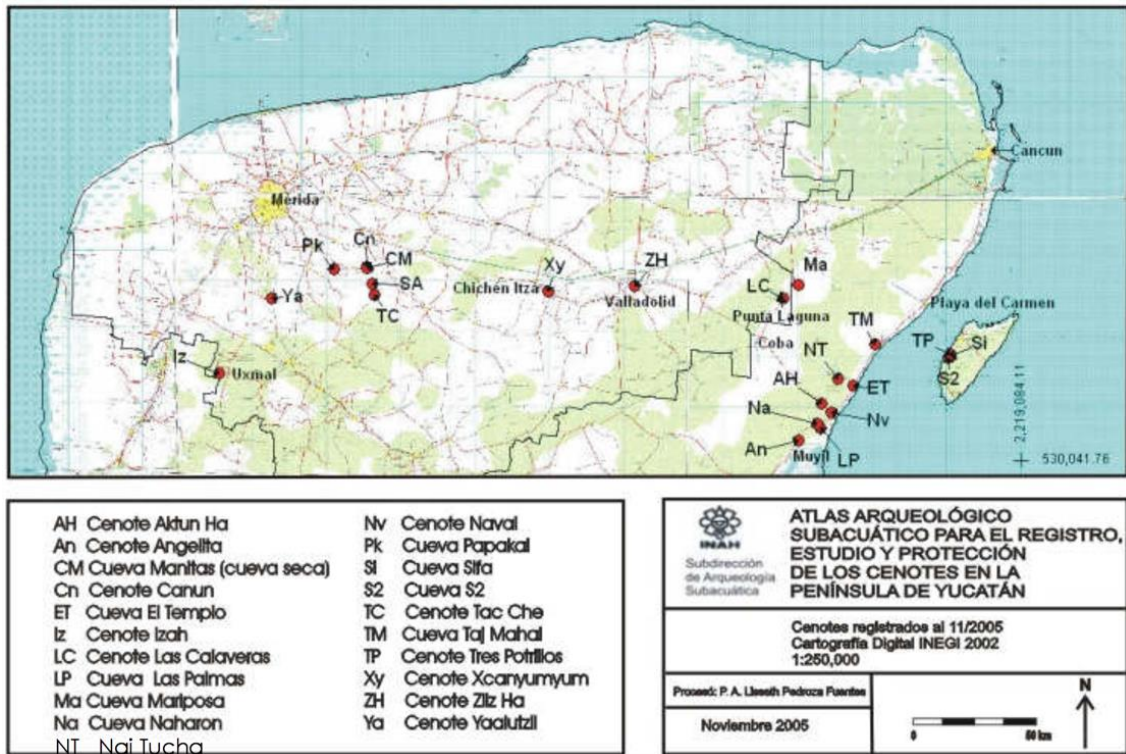


Figura 4.137. Cenotes y cuevas sumergidas registradas hasta diciembre del 2005 (Rojas y González, 2006: 2).

La intervención propiamente dicha, forma parte del proyecto permanente de la institución que se inició en el año 2000 y que se encargaba de registrar, explorar y estudiar decenas de contextos arqueológicos sumergidos en los estados mexicanos de Quintana Roo, Yucatán y Campeche (fig. 4.137). Buscando, principalmente, aquellos cenotes y cuevas con evidencias arqueológicas o paleontológicas. Todo con el objetivo de incorporarlos a un Sistema de Información Geográfica (SIG), a una base de datos nacional, y a un banco de imágenes y cédulas de registro.

La Campaña de 2002 se encargó, en este caso, de explorar cuevas y cenotes entre los que se cuentan el cenote de Canún (Homún), Izah (Santa Elena), Yaalutzil (Abala), Xcanyuyum (Tinum), Las Calaveras (Valladolid), Mariposa (Lázaro Cárdenas), Sifa

(Cozumel), Han Tun Ko (Tulum). Todos ellos abarcaban cronologías entre el preclásico (2500-200 a.C.) y el posclásico (900-1521 d.C.) maya. A lo largo de estas intervenciones se recuperaron las otras cuatro piezas que componen la colección SAS Yucatán digitalizada.

A diferencia de las tres primeras piezas, aquí existe una gran heterogeneidad tanto cronológica como estructural. Esto supuso un doble esfuerzo durante su digitalización. En primer lugar, a la hora de clasificarlas y describirlas y, en segundo lugar, durante su postprocesado en Blender donde cada pieza supuso un reto en sí mismo, teniendo que aplicar procedimientos diferentes en cada uno de los casos.

4.6.1 Experimentación y análisis

La irrupción de las técnicas de virtualización y reconstrucción digital en la Arqueología ha supuesto un gran avance a la hora de documentar, analizar y conservar el patrimonio. Es cierto que generar modelos tridimensionales de diferentes objetos o estructuras no garantiza resultados académicos de calidad, pero sin duda es un paso más para afianzar una metodología arqueológica cada vez mejor.

Con la digitalización del fondo arqueológico de la Subdirección de Arqueología Subacuática del INAH pretendíamos demostrar como la aplicación de una herramienta relativamente económica como es la fotogrametría *SfM* aporta resultados interesantes cara a la representación visual y al estudio posterior de estos elementos. Sobre esta colección de siete piezas se llevó a cabo de forma exhaustiva la digitalización mediante fotogrametría multimagen, comprobando así la eficacia de esta sobre piezas de pequeño y mediano tamaño, de morfometrías y superficies complejas y recuperadas de contextos subacuáticos. Entornos donde se vieron profundamente afectadas por dinámicas erosivas particulares. En este caso, realizado de manera correcta, el proceso fotogramétrico permite la creación de modelos digitales de gran precisión. Este tipo de herramientas y flujos metodológicos facilitan, por tanto, el estudio remoto del registro

arqueológico, pero con casi todas las garantías que podría aportar una inspección directa del objeto físico real.

En el caso particular del conjunto de piezas procedentes de la Península de Yucatán, esto se convirtió en una realidad innegable. Una vez creados y escalados los modelos 3D fue posible realizar medidas morfométricas mucho más precisa que con la instrumentación tradicional. Por otro lado, el trabajo con modelos digitales permite la realización de análisis de tipo virtual adicionales. Otro punto importante, quizás más importante, deriva del uso de los modelos fotogramétricos en el campo de la restauración. Efectivamente, los objetos arqueológicos que aquí se presentan fueron parcial o completamente restaurados. Por último, y junto al uso de repositorios online gratuitos donde los modelos pueden ser fácilmente visualizados, se elaboraron recreaciones e infografías que aportasen una idea mucho más amplia del contexto histórico y el bagaje cultural de las piezas seleccionadas.

4.6.2 Resultados

En las líneas que siguen se mostrarán, tal y como se ha ido haciendo a lo largo de todo este apartado de casos de estudio, los resultados obtenidos del trabajo llevado a cabo sobre cada una de las piezas presentadas. A ello se sumarán una breve descripción individual de cada elemento. Siguiendo así la misma dinámica que en los apartados anteriores, las piezas han sido ordenadas y numeradas de forma diferente a su sistema de registro original. Entre paréntesis, y en caso de tenerlo, se añade indica su número de sigla original. Aquellas piezas que no poseen ningún tipo de sigla, o esta se encuentra tan deteriorada que resulta inviable su lectura, se identificaron con las siglas S/N y un número correlativo a su orden de digitalización.

Del mismo modo y con el fin de aportar la mayor transparencia posible a todo el proceso de captura, registro, y postprocesado, se decidió crear tanto una ficha como un reporte de cada uno de los modelos tridimensionales. En estos documentos, incluidos en los

anexos (Anexos 8.2.4), se pueden consultar todos y cada uno de los datos de la pieza digitalizada.

- PIEZA 47 (S.5/004)



Figura 4.138. Montaje compositivo con renderizados de proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 47 (S.5/004). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6NLNV> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 47 localizada en la Cueva de la Quebrada de la isla de Cozumel (Quintana Roo, México), corresponde a un cajete trípode cerámico cuyo número de registro original es S.5/004. Presenta una base circular y ligeramente convexa que incorpora tres soportes globulares huecos, con pequeñas perforaciones y una pequeña piedra en su interior. Esto es lo que se conoce como pata sonajera, muy empleadas en recipientes del período Clásico maya (fig. 4.138). El recipiente cerámico presenta además unas paredes delgadas recto-divergentes y un borde biselado. Tiene una tonalidad café amarillento con restos de engobe color café claro y parte del pulimento original. Debido a la acción fisicoquímica del agua, el trípode se encuentra parcialmente fragmentado y carece de dos de los tres soportes globulares y un fragmento de borde.

La pieza, perteneciente a la cultura maya, puede ubicarse dentro de la tipología Ticul Pizarra Delgado y variedad Xelhá, datada en el Clásico Tardío (Peraza, 1996: 68-70: ; Robles, 1990: 15-200). Su uso fue probablemente ritual.

Dado su estado fragmentario, sobre esta pieza se aplicaron procedimientos reconstructivos de índole virtual conducentes a la reintegración de las partes faltantes. (fig. 4.139).



Figura 4.139. Renderizado de la hipótesis reconstructiva con prótesis no mimética llevada a cabo en Blender de dos de los pies faltantes de la pieza N° 47.

- PIEZA 48 (M.3/003)



Figura 4.140. Montaje compositivo con renderizados de proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 48 (M.3/003). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNy> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 48, localizada en la Cueva de la Quebrada de la isla de Cozumel (Quintana Roo, México), corresponde a otro cajete trípode cerámico cuyo número de registro original es M.37003. Presenta una base circular y ligeramente convexa que incorpora tres soportes globulares huecos, con pequeñas perforaciones y una pequeña piedra en su interior. Esto es lo que se conoce como pata sonajera, muy empleadas en recipientes del período Clásico maya (fig. 4.140). El recipiente cerámico presenta además unas paredes delgadas recto-divergentes y un borde biselado. Tiene una tonalidad café amarillento con restos de engobe color café claro y parte del pulimento original. Una decoloración debida, en parte, a la acción fisicoquímica del contexto subacuático en que se encontró.

La pieza, perteneciente a la cultura maya, puede ubicarse dentro de la tipología Ticul Pizarra Delgado y variedad Xelhá, datada en el Clásico Tardío (Peraza, 1996: 68-70; ; Robles, 1990: 15-200). Su uso fue probablemente ritual.

La pieza fue sometida a un postproceso de recreación con el objetivo de contextualizarla (fig. 4.141) y crear documentación gráfica de calidad para su difusión.



Figura 4.141. Recreación realizada en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 48. En la escena se representa el posible uso de este recipiente, como contenedor de resina de copal, un tipo de incienso muy usado en el área maya para los rituales.

- PIEZA 49 (S.4/007)



Figura 4.142. Montaje compositivo con renderizados de proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 49 (S.4/007). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OzB9> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 49, localizada en la Cueva de la Quebrada de la isla de Cozumel (Quintana Roo, México), corresponde a una olla globular registrada originalmente como S.4/007. Presenta una base circular plano-convexa, borde recto, cuello ligeramente evertido y con dos asas en forma horizontal, una de las cuales no se conserva (fig. 4.142). Como decoración cabría resaltar cuatro protuberancias localizadas en la unión del cuerpo con el cuello y un estriado únicamente en el cuello y en sentido vertical. Presenta una tonalidad color que varía del café amarillento al café oscuro. Su estado de conservación es medio, con una concreción calcárea de gran extensión que rodea una parte importante de la pieza y la pérdida de una de sus asas horizontales.

La pieza, perteneciente a la cultura maya, puede ubicarse en la tipología cerámica tipo Vista Alegre estriado y variedad Chen Rio, datada en el Clásico Tardío (Peraza, 1996: 68-70; ; Robles, 1990: 15-200).

La pieza fue sometida a un postproceso de recreación con el objetivo de contextualizarla (fig. 4.143) y crear documentación gráfica de calidad para su difusión.



Figura 4.143. Recreación realizada en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 49. En la escena se representa el posible uso de este recipiente, al lado de un chultún o reservorio de agua.

- PIEZA 50 (ML82/8BS)



Figura 4.144. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 50 (ML82/8BS). Un cuenco esgrafiado maya. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P78t> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 50 corresponde a un cuenco esgrafiado, localizado en el cenote de Canún, en el municipio de Homún (Yucatán, México). Fue denominado inicialmente como ML82/8BS, siguiendo el sistema de registro de la Subdirección de Arqueología Subacuática. La pieza tiene forma de forma elipsoidal con unas paredes extremadamente delgadas y presenta una tonalidad negra grisácea con bruñido (figs. 4.144 y 4.145). Su estado de conservación es bastante deficiente, presentando numerosas fracturas y habiendo perdido gran parte de su borde original.

Este recipiente cerámico de tradición maya pertenece al estilo Pizarra (Brainerd, 1958: 15-100; Varela y Leclaire, 1999: 102-127; Varela, 1993: 254-266) cuya cronología se ubica en la transición al Clásico terminal (750-900 d.C.).

El modelo fotogramétrico obtenido de la pieza fue sometido a procedimiento de reconstrucción y recreación virtual (figs. 4.145 y 4.146).



Figura 4.145. Recreación obtenida en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 50.



Figura 4.146. Reconstrucción con prótesis no mimética y renderizado llevado a cabo en Blender sobre la pieza Nº 50.

- PIEZA 51 (B39/30):



Figura 4.147. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 51 (B39/30). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6NLNo> [última visita: 29/11/19]).

La pieza N° 51 corresponde a un vaso cerámico recuperado en el cenote de Canún, en el municipio de Homún (Yucatán, México). Fue registrado originalmente con la denominación B39/30 (fig. 4.147). El recipiente presenta unas paredes curvas en la parte baja y rectas en la parte alta, un borde redondeado y decoración pintada, muy deteriorada, a base de dos líneas paralelas en la parte superior. La cerámica conserva igualmente parte de un engobe coloreado y craquelado de tonalidad marrón-rojiza con desportilladuras. La pieza fue restaurada físicamente por Gabriel Aguilar Bautista en 2003 debido a su estado de deterioro. Igualmente, la superficie se encuentra bastante cuarteada en las partes originales y exhibe manchas negruzcas probablemente debido a la acción fisicoquímica del agua.

La pieza podría ubicarse dentro del tipo cerámico Sierra Rojo, el cual comprende el período epiclásico y clásico tardío maya (Callaghan, 2008: 870-889; Houston *et al.*, 2004: 725; Rice, 2009: 139) .

La pieza fue sometida a procedimientos de tratamiento de imagen. De esta forma, mediante la aplicación del filtro LDS de Dstretch, el cual realza los tonos marrones y amarillos, pudo observarse con mayor definición la línea decorativa de la parte superior y que se encontraba bastante desgastada (fig. 4.148). Gracias a ello también se pudo determinar la tonalidad particular del pigmento; algún ocre oscuro en este caso.

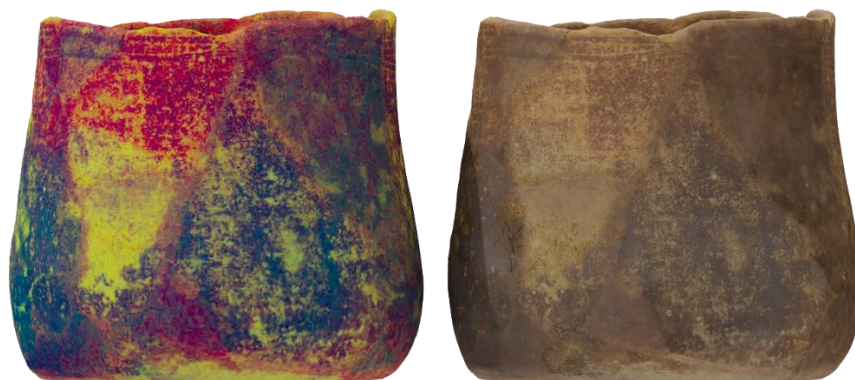


Figura 4.148. Renderizados obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico original (derecha) y el modelo tratado con Dstretch (izquierda).

- PIEZA 52 (S/N1):

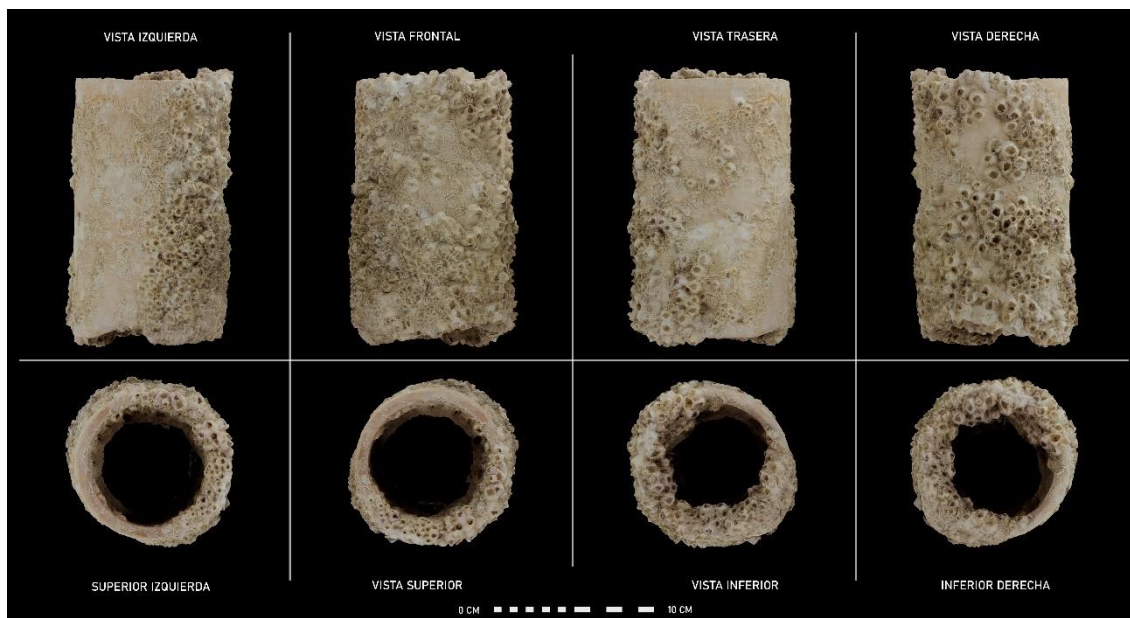


Figura 4.149. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 52 (S/N1). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P78F> [última visita: 29/11/19]).

La pieza N° 52 corresponde a lo que parece ser un tubo cerámico que fue recuperado del cenote de Canún, en el municipio de Homún (Yucatán, México). Dado que no se le asignó ningún número de inventario, y siguiendo la dinámica de la presente tesis, se le asignó la referencia S/N1. Presenta una tonalidad rojiza en las partes libres de concreciones. Su estado de conservación es bastante deficiente, pues la pieza presenta fracturas y abundante concreción en la práctica totalidad de su superficie (fig. 4.149). La pieza probablemente formó parte de algún sistema de entubado de época maya o incluso del período colonial.

Sobre esta pieza se aplicaron procesos de reconstrucción digital con el objetivo de eliminar las concreciones y recrear su posible forma de origen (fig. 4.150).



Figura 4.150. Reconstrucción con acabado mimético y recreación llevada a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 52. Modelo original (izquierda) y reconstrucción basada en la sección de la parte visible (derecha).

- PIEZA 53 (B13/9):



Figura 4.151. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 53 (B13/9). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6JnyL> [última visita: 29/11/19]).

La pieza N° 53 corresponde a una botija olivera colonial recuperada del cenote de Canún, en el municipio de Homún (Yucatán, México) (fig. 4.151). Presenta una forma claramente globular, sin cuello ni asas y con un borde engrosado carente de resalte anular (Amores y Chisvert, 1993: 284). La botija presenta un estriado horizontal en gran parte de su superficie y una tonalidad café amarillenta modificada por la acción fisicoquímica del agua, la cual produjo manchas de color oscuro bastante patentes en algunas zonas. Igualmente, la botija se encuentra en un grado de conservación excelente, aunque presenta una incrustación metálica ya oxidada en la parte inferior, muy cerca de la base y profundamente clavada en la pasta cerámica. Seguramente fue parte del sistema de anclaje o cubrición.

Inicialmente la botija, destinada al transporte de aceite y otro tipo de productos durante el período colonial, fue ubicada dentro de la tipología trazada por Amores y Chisvert (1993:310) como tipo B y variante 72 S (fig. 4.152). No obstante, no quedaba del todo claro su pertenencia a este grupo. Por este motivo, la pieza N° 53 se sometió a un análisis

comparativo de tipo digital con el objetivo de confirmar la tipología que se había propuesto inicialmente para ella. Del mismo modo, esta fue compararla a su vez con otra botija de características similares localizada en el Nevado de Toluca (Estado de México, México) y la cual no se había adscrito aún a ninguna tipología concreta (fig. 4.154). Para llevar a cabo dicho procedimiento, se decidió emplear el *software* CloudCompare, con el cual es posible comparar las nubes de puntos de varios modelos virtuales previamente escaneados o elaborados de forma totalmente digital. Todo ello con un alto grado de precisión.

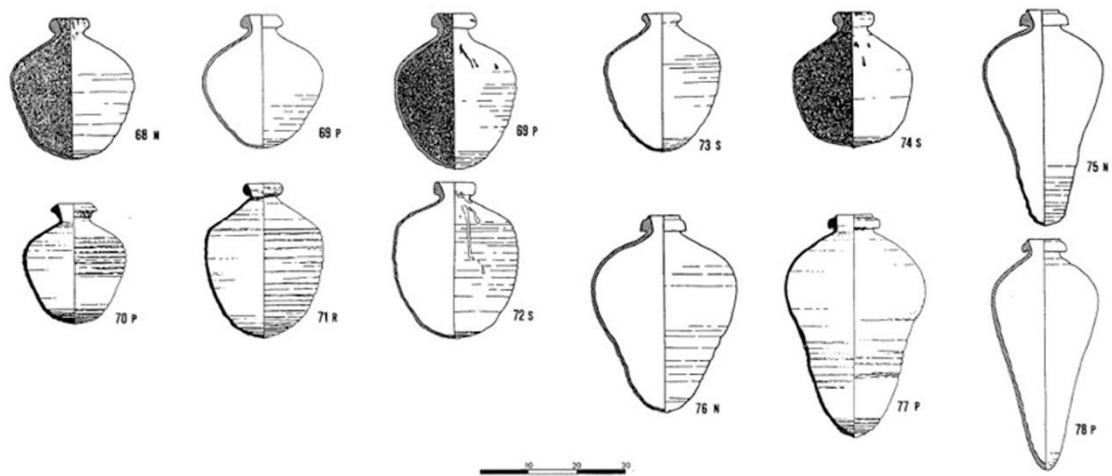


Figura 4.152. Figura 4.149. Ejemplos tipológicos de botijas coloniales Tipo B de finales del s. XVI (Amores y Chisvert, 1993: 310).



Figura 4.153. En la parte superior, creación en Blender de una botija de referencia a partir de la sección de la forma 72s trazada por Amores y Chisvert (1993: 310). En la parte inferior, renderizado obtenido en Blender donde se comparan el modelo fotogramétrico de la pieza Nº 53 y el modelo simulado a partir de la tipología.

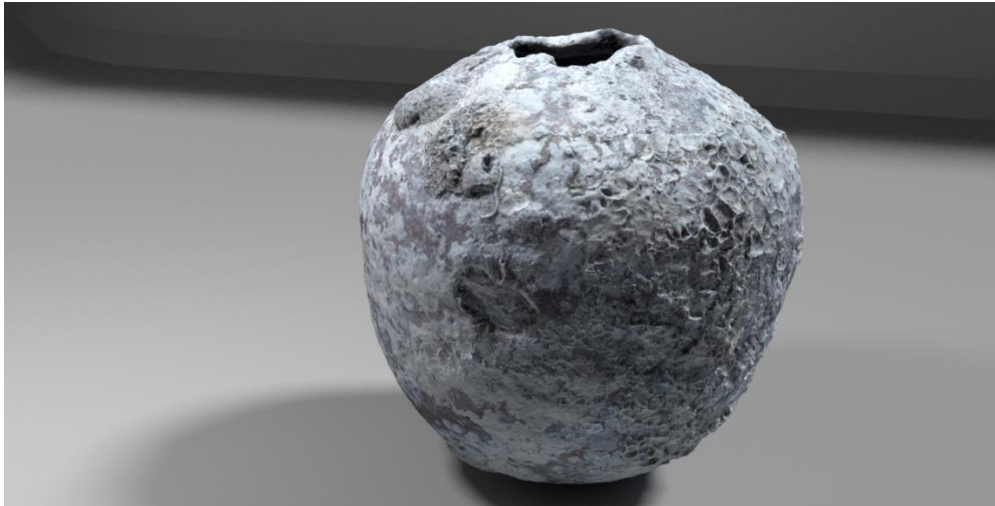


Figura 4.154. Renderizado obtenido en Blender a partir del modelo fotogramétrico realizado sobre la botija olivera localizada en el Nevado de Toluca (México). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7Fp> [última visita: 29/11/19]).

Para poder ejecutar el análisis planteado era necesario elaborar un modelo de referencia digital. En este caso, una botija *ex novo* recreada a partir de la tipología 72 S trazada por Amores y Chisvert (1993: 310 y que sirviese como base comparativa (fig. 4.153).

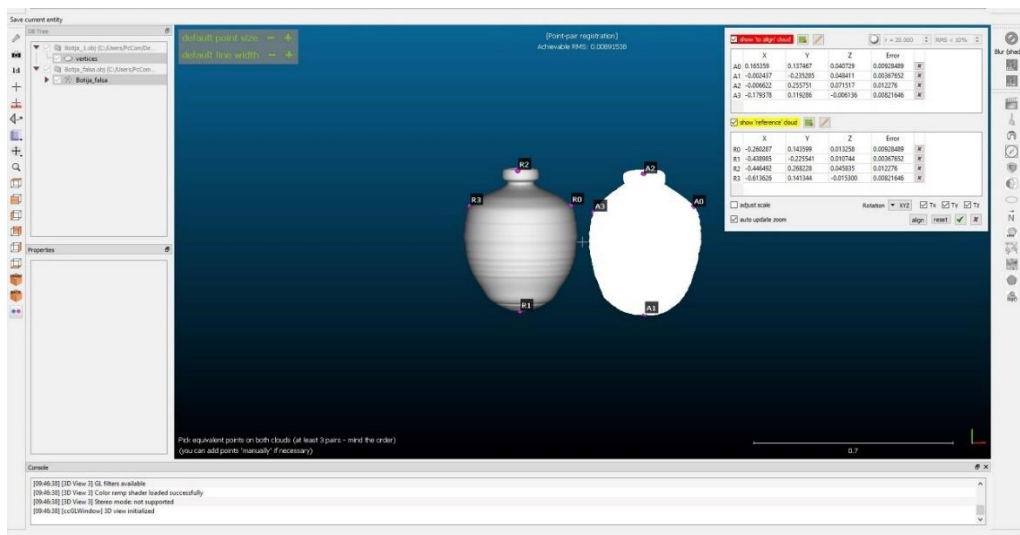


Figura 4.155. Ejemplo de alineamiento en CloudCompare de la botija falsa basada en la tipología 72 S y la pieza Nº 53. Este es el primer paso para llevar a cabo el análisis y es necesario que ambos objetos tengan una escala y posición muy similares.

Una vez ejecutado el análisis en CloudCompare (fig. 4.155), se pudo observar que existía cierta disconformidad con la tipología asignada inicialmente por el equipo de

arqueólogos de que había rescatado la pieza N° 53. En efecto, existía un alto porcentaje de divergencia entre la forma de la pieza N° 53 y el modelo simulado *ad hoc* a partir de la tipología 72 S (fig. 4.156). Por otro lado, sí que parecía encajar mucho mejor con la tipología 73 S. Por el contrario, la segunda botija escaneada mediante fotogrametría, procedente en este caso del Nevado de Toluca (México), sí que presentaba un mayor grado de coincidencia con la forma 72 S (fig. 4.157).

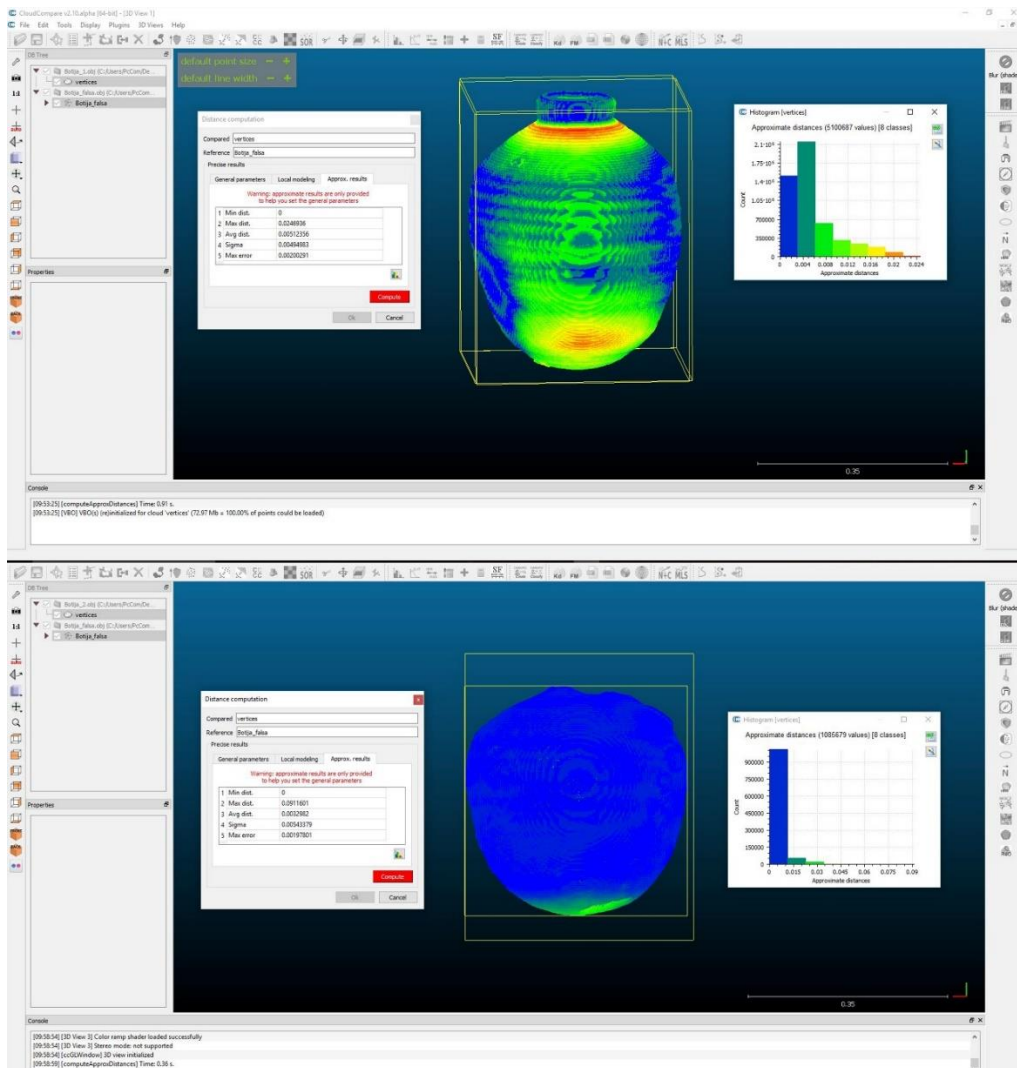


Figura 4.156. En la parte superior, análisis comparativo llevado a cabo en CloudCompare entre la pieza N° 53 y la botija falsa recreada en base a la tipología 72 S. Las tonalidades más frías indican un mayor grado de semejanza entre ambos objetos digitales. Los tonos más cálidos aparecen en aquellas zonas donde existe mayor diferencia. En la parte inferior, comparación en CloudCompare entre la botija del Nevado de Toluca (Estado de México, México) y la botija falsa recreada en base a la tipología 72 S. Las tonalidades más frías indican un mayor grado de semejanza entre ambos objetos digitales. Los tonos más cálidos aparecen en aquellas zonas donde existe mayor diferencia.

Por último, y a modo de confirmación de todo el procedimiento anterior, se compararon directamente ambos modelos fotogramétricos (figs. 4.151 y 4.154). Tal y como se esperaba, entre ambas piezas, y especialmente en la zona de los hombros y la base, existía un porcentaje de disparidad suficiente como para determinar que estas pertenecían a dos tipologías diferentes (fig. 4.157).

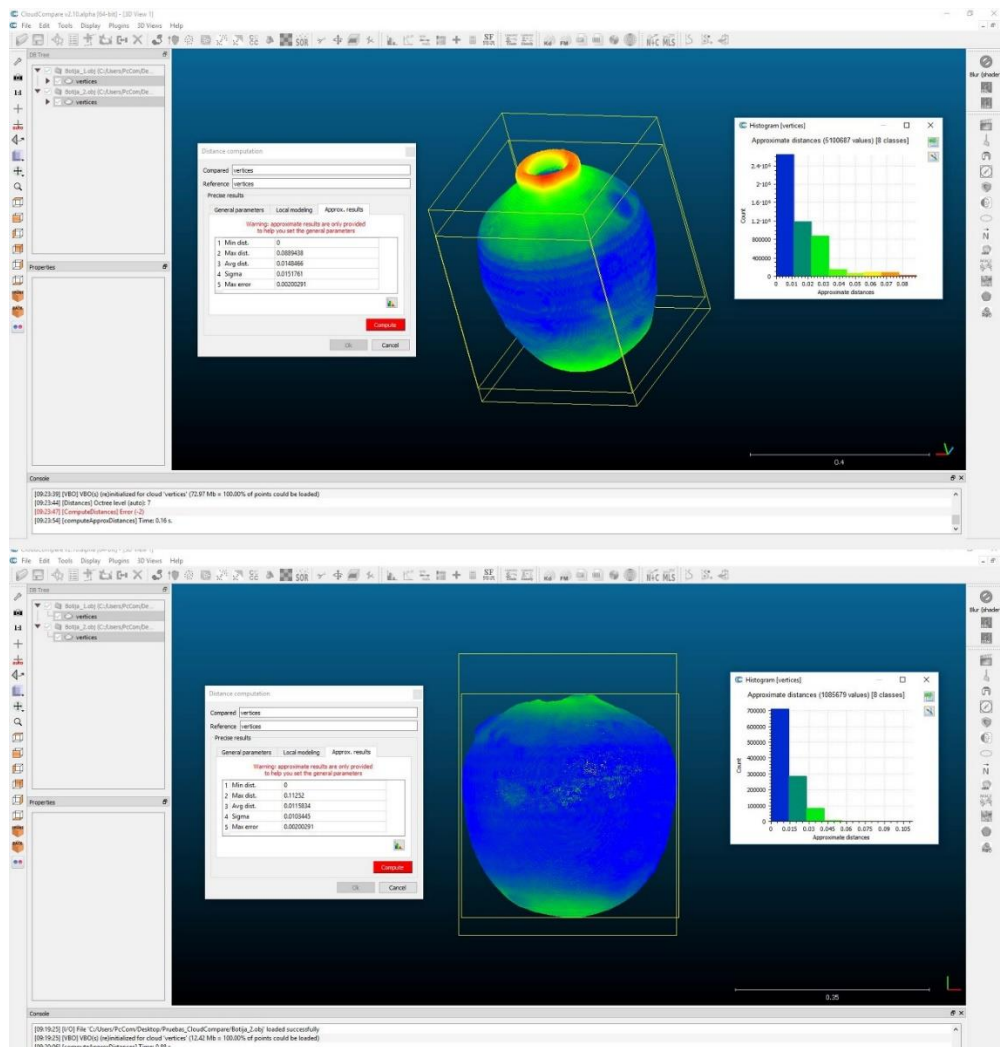


Figura 4.157. Comparación en CloudCompare entre los modelos fotogramétricos de la botija de Canún y la procedente del Nevado de Toluca. Las tonalidades más frías indican un mayor grado de semejanza entre ambos objetos digitales. Los tonos más cálidos aparecen en aquellas zonas donde existe mayor diferencia.

De esta forma y tras la experimentación metodológica llevada a cabo sobre la selección de piezas procedentes de las intervenciones de la Subdirección de Arqueología Subacuática en diversas localizaciones de la Península de Yucatán, se puede concluir lo siguiente:

1. En relación con esto último quedan las extraordinarias posibilidades de los trabajos de reconstrucción, restauración y recreación de naturaleza digital. A este respecto, las piezas de la colección SAS Yucatán son un claro ejemplo de ello. Las labores de documentación, digitalización y posterior reconstrucción llevadas a cabo sobre cada una ponen de manifiesto el extraordinario valor de esta herramienta cara no solo a la divulgación científica, sino a la difusión del patrimonio entre personas que carecen de formación específica. La restauración virtual es un método totalmente inocuo para las piezas, que se convierte en una herramienta formidable en manos de un restaurador profesional ya que, mediante estos ensayos previos, el resultado final de una reconstrucción material podría mejorar enormemente. Pero, más allá de ello, las técnicas como la fotogrametría *SfM* o los *softwares* de diseño 3D como Blender, permiten a la arqueóloga o arqueólogo “materializar” su propia visión, de forma autónoma y sin que ello conlleve un riesgo real para el patrimonio.

2. En segundo lugar, la aplicación de métodos de análisis comparativo a partir de las nubes de puntos de los modelos digitales se convierte en una alternativa interesante. Algunos *softwares* como CloudCompare permiten trazar, de forma relativamente sencilla, clasificaciones mucho más precisas que aquellas que aportan los métodos tradicionales (Bevan et al., 2014: 250-253). Esto demuestra la necesidad de seguir afianzando líneas de investigación que sigan explorando el potencial de este tipo de herramientas.

3. Como ya se ha ido comprobando a lo largo de la redacción de la presente tesis, una de las principales de la fotogrametría convergente proviene, sin duda alguna, de su empleo en el campo de la visualización y la difusión. A las posibilidades que ofrece contar con un modelo 3D fácilmente visualizable en plataformas gratuitas como Sketchfab, se ha de sumar la elaboración de recreaciones fotorrealistas, infografías y montajes compositivos comprensibles. Estas ofrecen unos resultados visualmente espectaculares, con las garantías científicas suficientes y capaces de mostrar la realidad y el pasado de un objeto tal y como lo imaginan los arqueólogos, pero sin la complejidad interpretativa que ello requiere. Herramientas que, por su calidad, facilidad y, sobre todo, celeridad,

se están postulando como la principal alternativa al dibujo o la ilustración tradicional en la gran mayoría de excavaciones y publicaciones. El aspecto de la difusión ha sido tradicionalmente descuidado en favor de una divulgación científica exclusiva. La gran mayoría de los profesionales de la arqueología, así como por las instituciones académicas relacionadas con ellos, siguen siendo bastante escépticos al respecto. Tristemente, la etiqueta de *Charlatanic Pretty Pictures Makers* (Lanjouw, 2016: 4) sigue pesando sobre el arqueólogo virtual, deslegitimando su trabajo en determinadas ocasiones y afectando a su credibilidad de forma demasiado habitual. Sin embargo, el verdadero valor de las investigaciones arqueológicas no reside en su reclusión a un reducido número de expertos, sino en la difusión al público general. Nuestro trabajo como arqueólogos no tiene sentido si ese conocimiento no logra traspasar nunca los muros de nuestro propio academicismo.

4. El futuro de la Arqueología, o de la Historia en general, depende hoy de su propia habilidad para acercarse a sectores no especializados de la población. La digitalización proporciona un espacio de exhibición económico, casi inagotable y prácticamente ajeno a la inaccesibilidad tan habitual del medio físico.

4.7 El patrimonio arqueológico prehispánico II. Colección SAS Nevado de Toluca



Figura 4.158. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas que conforman la colección de la SAS Nevado de Toluca.

Los *ítems* arqueológicos de este apartado fueron recuperados como parte de los trabajos llevados a cabo por la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México (SAS-INAH), conjuntamente con el apoyo económico del filántropo estadounidense Richard Siegel. De esta forma, tras años de saqueos descontrolados, entre 2007 y 2008 se aprobó la realización de dos campañas arqueológicas en el volcán del Nevado de Toluca, ubicado entre los Valles de Toluca y Tenango, en pleno Estado de México. Durante ambas campañas se realizaron labores de prospección y excavación, tanto terrestre como subacuática, dentro y alrededor de las dos grandes lagunas del interior del cráter, la Laguna del Sol y la Laguna de la Luna (fig. 4.159).

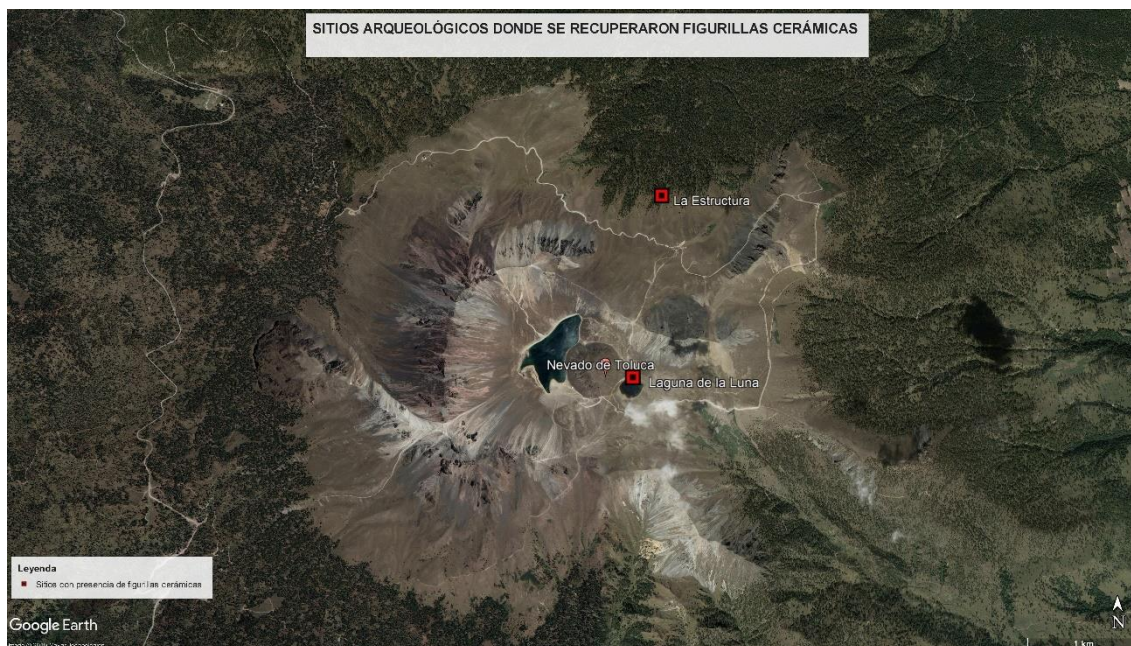


Figura 4.159. Mapa del sitio arqueológico del Nevado de Toluca. En rojo se han señalado las dos localizaciones donde fueron halladas las figurillas cerámicas objeto de este subapartado.

Denominado en *nahuatl* como “*Xinantecatl*” (Jarquín, 2008: 91; Martínez García, 2009: 56), este volcán de 4.680 metros es la cuarta cima más alta de México. Ubicado a 23 y a 80 km al suroeste de las ciudades de Toluca y México respectivamente, su imponencia y la tradicional veneración que los pueblos mesoamericanos sienten por las montañas, lo convirtieron en una importante zona de culto (Luna, 2000: 47-49). Como lugares de residencias de las divinidades, este tipo de montañas sagradas se convertían en áreas de peregrinaje recurrente desde épocas muy tempranas. De hecho, hace más de tres milenios, durante el período formativo, ya aparecían en el Valle de Toluca los primeros asentamientos permanentes de cierta entidad (Sugiura, 2009: 39).

La importancia religiosa y el valor arqueológico del Nevado de Toluca queda ya registrado a través de las crónicas coloniales del siglo XVI y XVII. Un ejemplo precoz de ello es la mención de Fray Bernardino de Sahagún en su *Historia General de las Cosas de Nueva España*, una obra en 11 tomos escrita a finales del siglo XVI donde ya se ponía en evidencia el fuerte arraigo entre las poblaciones del Valle Matlatzinco, a pesar de la evangelización, del culto a *Xinantecatl*:

“Hay otra agua donde también solían sacrificar, que es en la provincia de Toluca, cabe el pueblo de Calimaya; es un monte alto que tiene encima dos fuentes, que por ninguna parte corren, y el agua es clarísima y ninguna cosa se cría en ella, porque es frigidísima. Una de estas fuentes es profundísima; parecen gran cantidad de ofrendas en ella, y poco ha que yendo allí religiosos a ver aquellas fuentes, hallaron que había ofrenda allí, reciente ofrecida de papel y copal y petates de pequeñitos, que había muy poco que se habían ofrecido, que estaba dentro del agua. Esto fue en el año de 1570, o cerca de por allí y el uno de los que la vieron fue el P. F. Diego de Mendoza, el cual era al presente Guardián de México, y me contó lo que había visto” (Sahagún, 1985: 63-64).

Algunos años más tarde, en el capítulo I de su obra de 1656 *Manual de Ministros de indios, para el conocimiento de sus idolatrías y extirpación de ellas*, el sacerdote Jacinto de la Serna seguiría denunciando la pervivencia de dichas idolatrías:

“Tambien veneraban la Sierra Nevada, ó Bolcan de Toluca, donde iban muy de ordinario á sacrificar, y á los demas montes altos, donde tenían sus Cues antiguos, sanos y bien tratados: tambien hazian sacrificios en los principales manantiales de aguas, Rios, y lagunas, porque tambien veneraban á el agua, y la invocan, quando hazen sementeras, ó las cogen: quando hazen el copal, ó la cal, ó otra cosa, pidiendo alli sus Dioses socorro, y ayuda, y para todas estas cosas les ayudaba mucho el auer puesto muchos de estos idolos [...]” (Serna, 1892: 283).

A pesar de que el culto a dicha montaña y los fenómenos de peregrinación y deposición de ofrendas fuesen, muy probablemente, una realidad recurrente mucho más antigua, tras las dos campañas llevadas a cabo por la Subdirección de Arqueología Subacuática, el grueso del material recuperado pertenece a dos períodos principales: el Epiclásico (650-900 d.C.) y, especialmente, del Posclásico (900-1521 d.C.). Es decir, épocas ya tardías cuando el Valle de Toluca y las poblaciones matlaltzincas y otomíes que allí habitaban se encontraban bajo el yugo azteca (Carrasco, 1986: 15-300; Hernández, 1966: 219). Todo esto propicia la gran influencia de estos últimos en la cultura material recuperada de los 18 sitios arqueológicos hasta ahora identificados (fig. 4.161). Y explica además que el Nevado de Toluca se convirtiese en un fuerte espacio de culto al dios del

agua y la fertilidad mexicana *Tláloc* y los *tlaloques* (Murillo, 2009: 49), así como que gran parte del material allí recuperado esté directa o indirectamente relacionado con estos (García, 1941: 217). Ofrendas depositadas, muy probablemente, durante los días 15 o 16 del mes de mayo, momento en que el sol alcanza su punto más alto y no proyecta una sombra lateral al mediodía. Este suceso astronómico permitía a los *tonalpouhques* (fig. 4.160), sabios con conocimientos astronómicos y matemáticos, corregir el calendario solar en los años bisiestos (Morante, 2019: 79) y anunciar el inicio de la época de lluvias y el fin de la temporada de secas (Sprajc, 2001: 79-80). Todo ello, junto a algunas estructuras que aparecen en el cráter, parecen indicar que junto a su función como lugar sagrado este volcán pudo haber hecho también las veces de observatorio astronómico (Montero, 2009: 70-77).



Figura 4.160. Imagen extraída del libro cuatro del *Códice Florentino* donde un *tonalpouhque* (término que puede ser traducido como “el que posee la cuenta de los días”) enseña a una mujer en un códice el día en que su hijo será bautizado. En este caso, el día 10 Conejo (Sahagún, 1985). Extraído de: <https://www.wdl.org/es/item/10096/> [Última consulta: 13/08/19].

4.7.1 Experimentación y análisis

Clave de catálogo	SITIO ARQUEOLÓGICO	Altitud ^m / _{msl}	Ladera o cima	Piso altitudinal térmico	Manantial	En cueva o con cueva próxima	Cerámica	Lítica y navajillas de obsidiana	Tetzacualco	Montículo o alguna estructura	Marcador astronómico	Ídolo	Estela	Xicalli (X); Petroglifos (P)	Figurillas	Instrumentos musicales	Copal o resinas	Cetros de madera serpentiformes	Jadeita, cuentas	Metales	Puntas de maguety	Entierros	Pintura rupestre	Cruz de agua, cruces o imágenes	Uso contemporáneo	Citado por otras fuentes	Saqueado o muy alterado	Excavado
NEVADO DE TOLUCA																												
NT-01	Pico Sahagún	4430	E	3			B				✓																	
NT-02	Xicotepec	4330	E	3			D	✓																		✓	✓	
NT-03	El Mirador	4330	N	3			B			✓		✓												✓				
NT-04	Pico Heilprin Norte	4350	E	3			D	✓		✓																		
NT-05	Pico Heilprin Sur	4345	E	3			B			✓																		
NT-06	El Portillo	4290	N	3			B																			✓		
NT-07	Laguna de la Luna	4210	E	3	✓		D	✓	✓					X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
NT-08	Laguna del Sol	4200	E	3			D	✓						P		✓	✓				✓		✓	✓	✓	✓	✓	
NT-09	Pico Nordeste	4130	N	3			B																					
NT-10	Cueva de Cerro Prieto	3990	W	2	✓	✓	B																	✓				
NT-11	La Estructura	3950	N	2			D	✓	✓						✓											✓		
NT-12	Arroyo Cano	3700	N	2			B	✓																				
NT-13	Los Cantiles	3735	N	2	✓	✓	B																					
NT-14	Cuevas de Arroyo Grande	4010	E	2	✓	✓	B																	✓				
NT-15	Arista Ciénega	4130	E	3			B	✓																				
NT-16	Laguna el Cometa	4250	E	3			B																					
NT-17	Santuario Guadalupano	4420	N	3																				✓				
NT-18	Pico El Fraile	4650	S	3			D																		✓			

Figura 4.161. Principales sitios arqueológicos del Nevado de Toluca y los materiales que en ellos aparecieron (Novelo, 2009: 36). Señalados en rojo las dos localizaciones (Laguna de la Luna y La Estructura) donde se encontraron las figurillas cerámicas que se estudian en este subapartado.

La colección de figurillas y cabezas antropomorfas de cerámica que se presentan en este subapartado 4.7 fueron localizadas en dos de los contextos arqueológicos excavados durante las dos campañas llevadas a cabo en el Nevado de Toluca. Estas son La Laguna de la Luna y el sitio conocido como La Estructura (Novelo, 2009: 36 y figs. 4.161 y 4.163). En términos generales, estas piezas presentan unas características muy similares al resto del material cerámico localizado en el Nevado de Toluca (fig. 4.162): un estado bastante erosionado por la acción del agua y los fenómenos de deshielo. Por otro lado, estos fragmentos pertenecen, desde un punto de vista cronológico, a la parte final del período Posclásico (Sugiura, 2009: 41).

LA CERAMICA DEL VALLE DE TOLUCA

LAMINA - II



Figura 4.162. Ejemplos de fragmentos y figurillas cerámicas localizadas en la zona del Valle de Toluca y que presentan semejanzas formales con el conjunto recuperado por la Subdirección de Arqueología Subacuática en el Nevado de Toluca (García, 1941: 217).

Con la digitalización de este conjunto de piezas se pretende demostrar como la aplicación de la fotogrametría *SfM* aporta resultados interesantes en la digitalización de piezas de muy pequeño tamaño e, igualmente, afectadas por dinámicas erosivas típicas de entornos subacuáticos de alta montaña. Contextos donde ya no solo han de tenerse en cuenta factores como poder erosivo del agua, sino también el ciclo del hielo y el deshielo.

La realización *in situ* de los modelos fotogramétricos de estas siete cabezas de cerámica recuperadas del Nevado de Toluca por la Subdirección de Arqueología Subacuática

(INAH), se acompañó de un minucioso estudio posterior que permitiese la contextualización de las mismas. Dado que se trata de un material inédito y del que solo se poseía la documentación arqueológica de campo, la labor de búsqueda bibliográfica para llevar a cabo procesos de reconstrucción total o parcial de las mismas fue muy cuidadosa.

Gracias a las labores de reconstrucción virtual se pudo generar un abundante material gráfico. Se obtuvieron así, tanto imágenes estáticas como animaciones en forma de video (fig. 4.163). Estas se presentan de forma anexa a esta tesis para que puedan ser correctamente visualizadas.

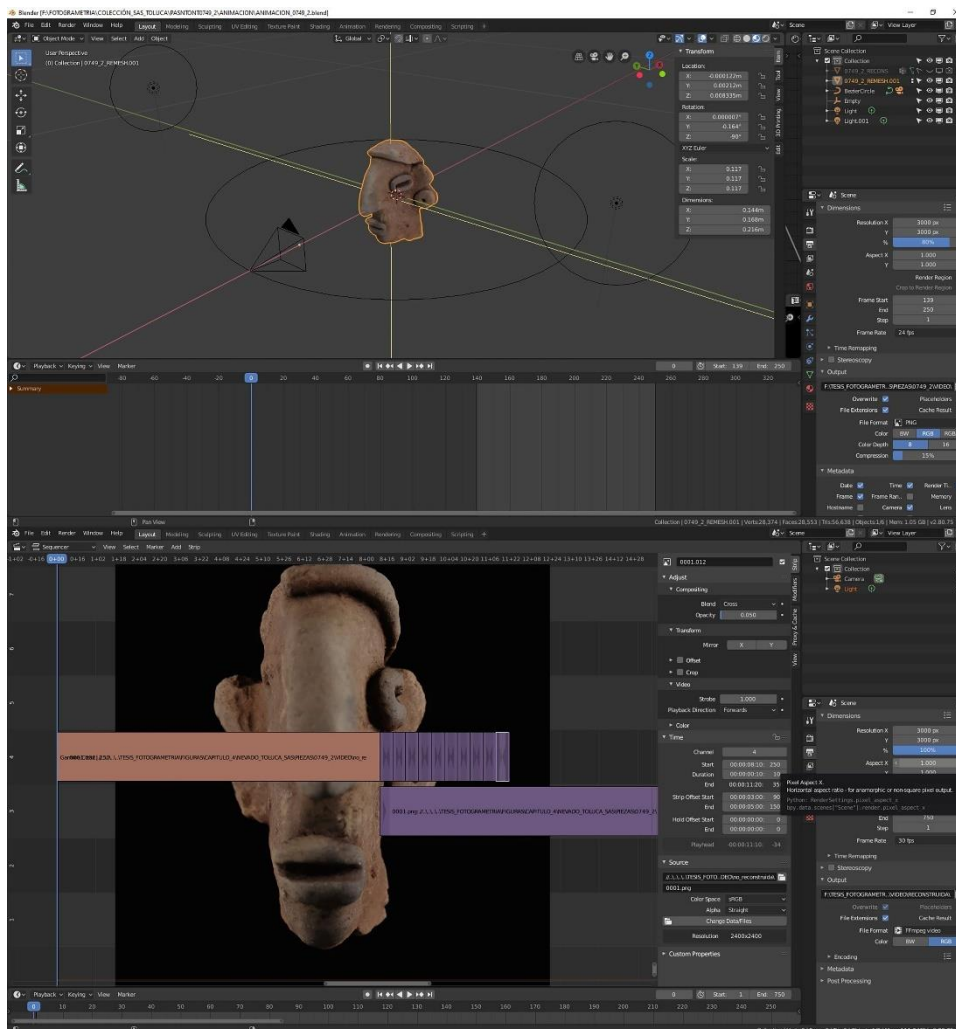


Figura 4.163. Proceso de creación de la animación de video de la pieza N.º 55 mediante *video sequence editor*, una de las herramientas que incorpora el programa multiplataforma Blender.

A estos postprocesos reconstructivos se han de sumar las posibilidades que dimanan de combinar fotogrametría *Structure from Motion* y los nuevos y asequibles dispositivos de impresión 3D. Con ello, fue posible la creación de réplicas físicas en base a materiales plásticos como el ácido poliláctico (PLA). Si bien, con la mayoría de estas reproducciones no se consiguen imitar las características materiales del objeto replicado, sí que emulan la morfología propia de la pieza. Este tipo de objetos permiten además incluir las reconstrucciones parciales o totales llevadas a cabo sobre la propia pieza.

De este modo, fue posible la creación de una colección de referencia en base a ácido poliláctico (PLA) que puede ser consultada en la ceramoteca del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada o bien a través del material gráfico que se adjunta en las siguientes líneas.

Todo esto permite, en definitiva, un grado de manipulación impensable en sus homónimos originales. Al trabajar con réplicas en plástico no solo se evita el deterioro de las piezas originales, sino que estas pueden ser adaptadas a personas con diferentes grados de discapacidad. Todo ello convierte a la fotogrametría, la reconstrucción virtual y la impresión 3D en herramientas determinantes dentro de la difusión del patrimonio cultural en general.

Por otro lado, en consonancia con los beneficios que aporta una red global como internet, las tecnologías de digitalización e impresión 3D permiten trascender las fronteras tradicionales de difusión patrimonial. Elementos anteriormente accesibles únicamente mediante fotos, pueden ser ahora descargados, materializados y manipulados, independientemente de su procedencia, en cualquier lugar que disponga de internet y de una impresora 3D.

Un claro ejemplo de ello es la colección presentada en este apartado. Un total de siete piezas ubicadas en los fondos de la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia de la Ciudad de México. Objetos que han sido impresos, como se mostrará a continuación, con una precisión de +/- 0.1 mm y que se adaptan perfectamente a la forma y las dimensiones de la pieza original.



Figura 4.164. Comparativa del renderizado obtenido de la colección del Nevado de Toluca (superior) y las impresiones 3D realizadas a partir de esos mismos modelos fotogramétricos (inferior). La colección fue digitalizada en la Subdirección de Arqueología Subacuática de Ciudad de México e impresa posteriormente en Granada mediante una Creality Ender 3 pro.

4.7.2 Resultados

En las líneas que siguen se mostrarán, tal y como se ha ido haciendo a lo largo de todo este apartado de casos de estudio, los resultados obtenidos del trabajo llevado a cabo sobre cada una de las piezas presentadas. A ello se sumarán una breve descripción individual de cada elemento. Siguiendo así la misma dinámica que en los apartados anteriores, las piezas han sido ordenadas y numeradas de forma correlativa y empleando un sistema diferente al de su registro original. Entre paréntesis, y en caso de tenerlo, se añade su número de sigla original. Aquellas piezas que no poseen ningún tipo de sigla, o esta se encuentra tan deteriorada que resulta inviable su lectura, se identificaron con las siglas S/N y un número correlativo a su orden de digitalización.

Del mismo modo y con el fin de aportar la mayor transparencia posible a todo el proceso de captura, registro, y postprocesado, se decidió crear tanto una ficha como un reporte de cada uno de los modelos tridimensionales. En estos documentos, incluidos en los anexos (Anexos 8.2.5), se pueden consultar todos y cada uno de los datos de la pieza digitalizada.

- PIEZA 54 (PASNT/ONT0749)

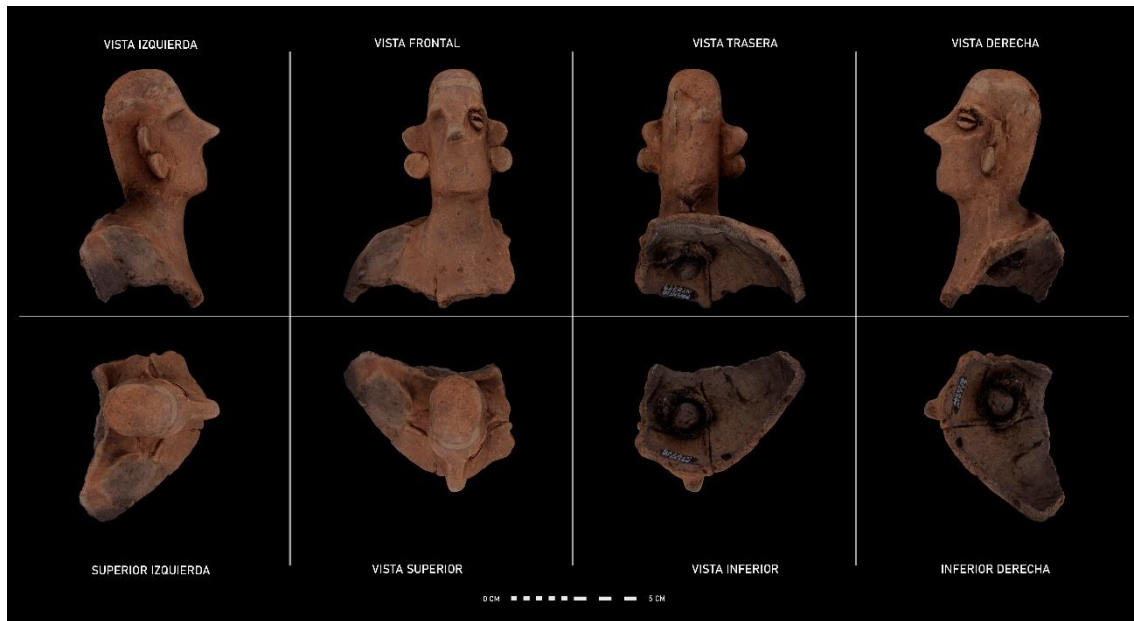


Figura 4.165. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 54 (PASNT/ONT0749). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNK> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 54, registrada originalmente con la referencia PASNT/ONT0749, corresponde a una representación antropomorfa del período posclásico más tardío y donde queda presente la fuerte influencia del ámbito mexica (fig. 4.165). Se trata de un busto realizado en cerámica, de tonalidad ocre oscuro, con ligeros matices rojizos y que, probablemente, formase parte de una figurilla cerámica parcialmente hueca.

Por otro lado, siguiendo el que parece ser el sistema de fabricación habitual en este tipo de representaciones figurativas, los rasgos faciales fueron aplicados en forma de pegotes o apliques de arcilla adicionales y superpuestos. Esto ha supuesto que algunos de ellos se hayan desprendido con posterioridad debido a los diversos fenómenos postdeposicionales a los que ha sido sometida la pieza. No obstante, a pesar de carecer del ojo derecho, de la boca y de lo que pudo ser una especie de tocado, la figurilla aún conserva ambas orejas y orejeras.



Figura 4.166. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la figurilla cerámica que corresponde a la pieza N° 54. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

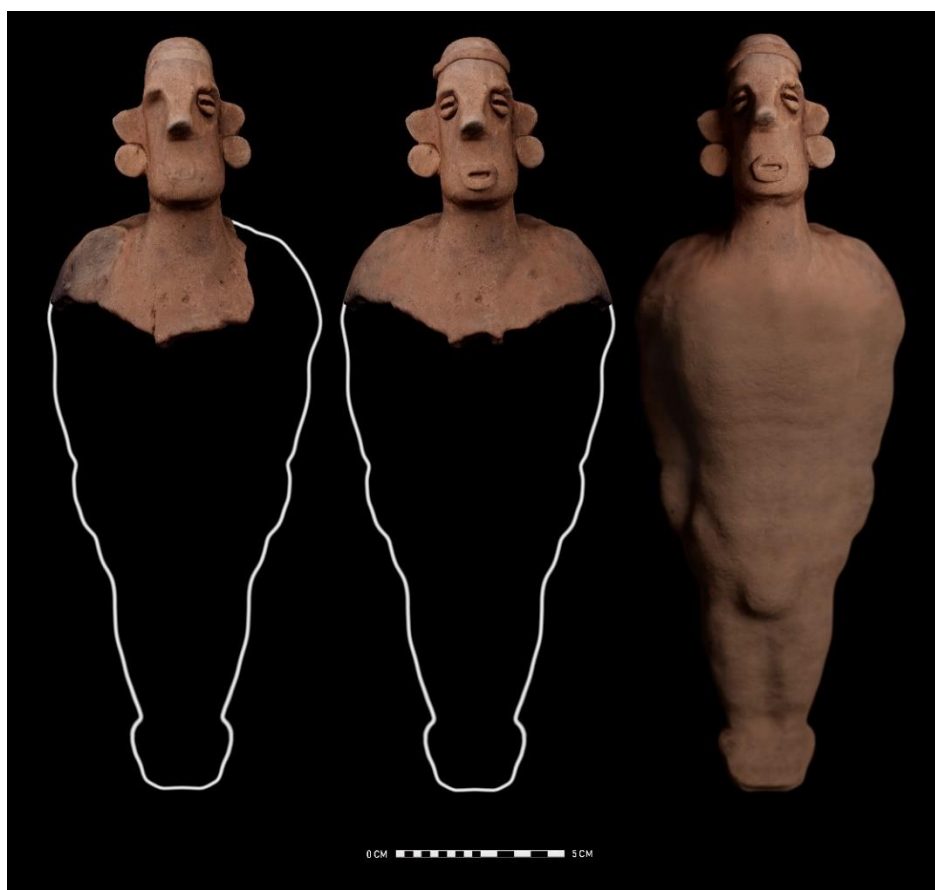


Figura 4.167. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de la forma completa de la pieza N° 54. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

En este caso, y dado que aún conservaba parte del contorno de los hombros y el tórax pudo estimarse una reconstrucción parcial y completa de la misma (figs. 4.166 y 4.167).

En último lugar, con el objetivo de crear una colección de réplicas que completase los fondos del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, se preparó el modelo digital para su impresión 3D en escala real (fig. 4.168).



Figura 4.168. Comparativa entre el modelo fotogramétrico (izquierda) y la réplica en ácido poliláctico (derecha) de la pieza Nº 54. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 55 (PASNT/ONT0749/2)



Figura 4.169. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 55 (PASNT/ONT0749/2). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNL> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 55, siglada con la referencia PASNT/ONT0749/2, corresponde a una nueva representación antropomorfa en material cerámico. Presenta una tonalidad marrón grisácea con ciertos matices más rojizos en determinadas partes. Al igual que ocurría con el caso anterior los rasgos faciales se consiguieron gracias a la aplicación de emplastos de arcilla sobre la matriz principal. Por otro lado, la parte derecha de la cabeza se encuentra en un estado de erosión acusado, que ha supuesto la pérdida tanto del ojo como de la orejera, parte del tocado y la propia oreja derecha (fig. 4.169). La boca, en este caso, se conserva prácticamente intacta. Aunque solo se conserva la parte de la cabeza, es muy probable que la pieza sea un fragmento de una figurilla de cerámica completa.

Dado el estado fragmentario del objeto se decidió aplicar procedimientos de reconstrucción virtual (fig. 4.170). El último paso consistió en la elaboración de un modelo segmentado y una réplica en PLA (fig. 4.171).



Figura 4.170. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la figurilla cerámica que corresponde a la pieza Nº 55. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

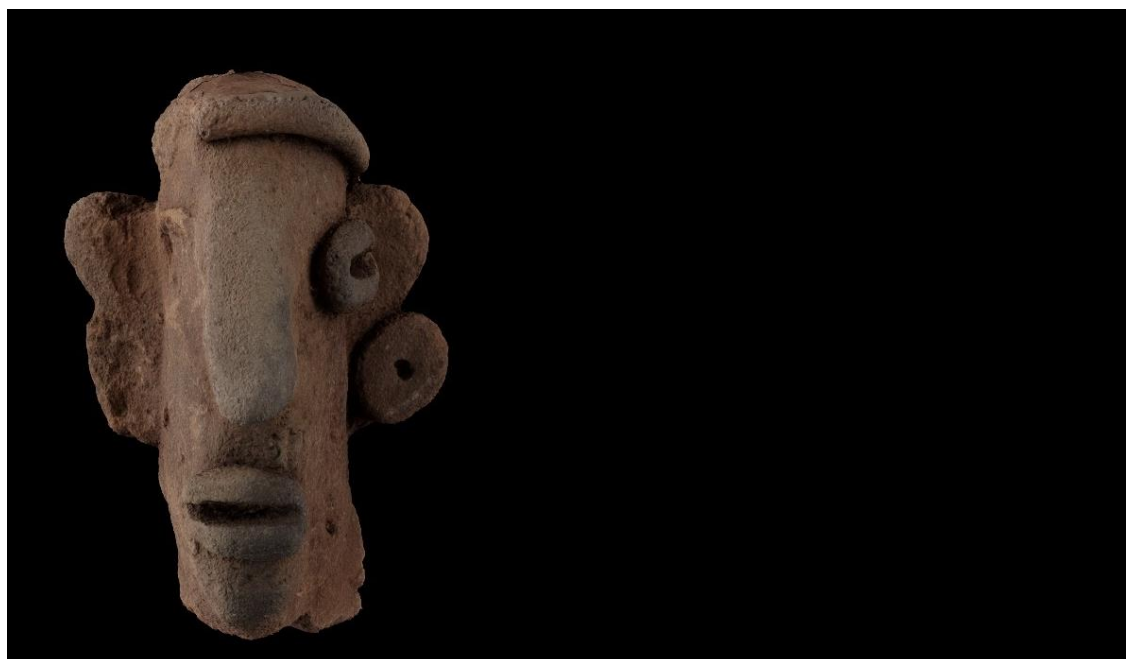


Figura 4.171. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 55. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 56 (PASNT/ONT0773)

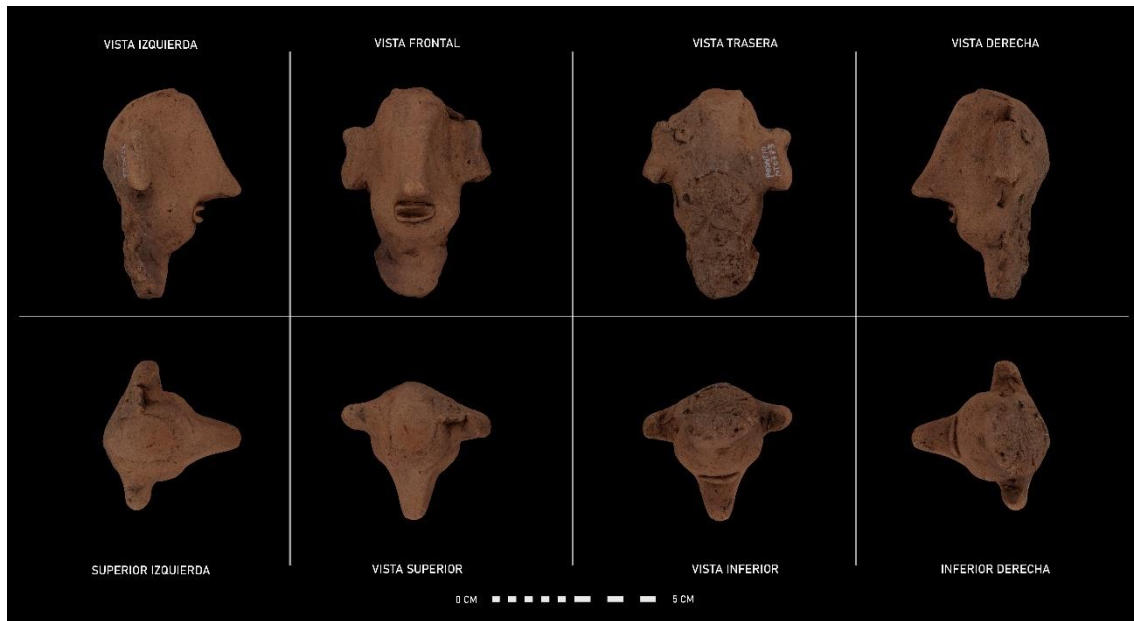


Figura 4.172. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 56 (PASNT/ONT0773). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNO> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 56 corresponde a una nueva representación antropomorfa en material cerámica. Fue registrada inicialmente con la referencia PASNT/ONT0773 (fig. 4.172). Presenta una tonalidad marrón algo más rojizo que en el resto de piezas que conforman la colección.

Como en el caso anterior, solo se conserva la parte de la cabeza de lo que probablemente fuese una figurilla de cerámica completa. Ambas orejas parecen mantenerse intactas, tal y como ocurre con la boca. El resto de rasgos faciales, al igual que ocurre con el cuerpo, han desaparecido. En la parte superior de la cabeza se intuye lo que parecen ser los restos de una especie de tocado. Similar al que presentan algunas de las otras piezas halladas en el Nevado de Toluca.

Nuevamente, la cronología de la pieza podría ajustarse al período posclásico más tardío con una fuerte influencia mexicana.

En este caso concreto, dado que no se conserva parte alguna del torso o del cuerpo, resultaba difícil esbozar una reconstrucción del cuerpo completo. De este modo, y dado

que a nivel de rasgos faciales el grado de conservación era bastante bueno, se decidió no aplicar reconstrucción virtual alguna. Se generó, eso sí, una réplica impresa a escala real de la misma (fig. 4.173).



Figura 4.173. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 56. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 57 (PASNT/ONT1118)



Figura 4.174. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 57 (PASNT/ONT1118). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNP> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 57, registrada bajo las siglas PASNT/ONT1118, representa nuevamente lo que parece ser una cabeza cerámica de forma antropomorfa (fig. 4.174) y tonalidad beige con manchas oscuras. Conviene aclarar que, a nivel formal, esta pieza parece diferenciarse del resto de las figurillas que analizamos en este subapartado. En este caso, tanto la coloración de la cerámica como el modelado de los rasgos faciales parece ser algo diferente. Del mismo modo, la disposición de la cabeza conservada es más estrecha que en el resto. Por otro lado, y siguiendo la dinámica general de los objetos cerámicos que componen esta colección, es más que plausible asumir que la cabeza conservada formase parte también de una figura de cuerpo entero.

En este caso concreto, dado que no se conserva parte alguna del torso o del cuerpo, resultaba difícil esbozar una reconstrucción del cuerpo completo. De este modo, y dado que a nivel de rasgos faciales el grado de conservación era bastante bueno, se decidió no aplicar reconstrucción virtual alguna. Se generó, eso sí, una réplica impresa a escala real de la misma (fig. 4.175).



Figura 4.175. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 57. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 58 (PASNT/ONT1121)



Figura 4.176. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 58 (PASNT/ONT1121). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNQ> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 58 corresponde a una nueva cabeza de cerámica registrada bajo las siglas originales de PASNT/ONT1121 (fig. 4.176). Como ocurre con el resto de las piezas hasta ahora vistas, se puede ubicar cronológicamente a finales del período clásico, cuando las poblaciones otomías y matlatzincas del Valle de Toluca formaban parte del mal denominado “Imperio Azteca”.

La cabeza cerámica, a diferencia del resto, no parece formar parte de una figurilla antropomorfa completa. Tampoco posee los ojos en forma de grano de café, presentes en el resto de figurillas. El ojo derecho, el único que se conserva, posee una disposición totalmente circular. Tanto la nariz como las orejas se encontraban profundamente deterioradas. La tonalidad, en este caso, es un marrón grisáceo con algunas manchas más oscuras.

Dado el estado de deterioro de la pieza se decidió aplicar una reconstrucción virtual que reintegrase aquellas partes faltantes (fig. 4.177).



Figura 4.177. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de la cabeza cerámica que corresponde a la pieza N° 58. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

Del mismo modo, y con el objetivo de crear una colección de referencia de este grupo de figurillas, se creó una réplica impresa a escala real de la pieza sin reconstruir (fig. 4.178).



Figura 4.178. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 58. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

PIEZA 59 (PASNT/ONT1122)

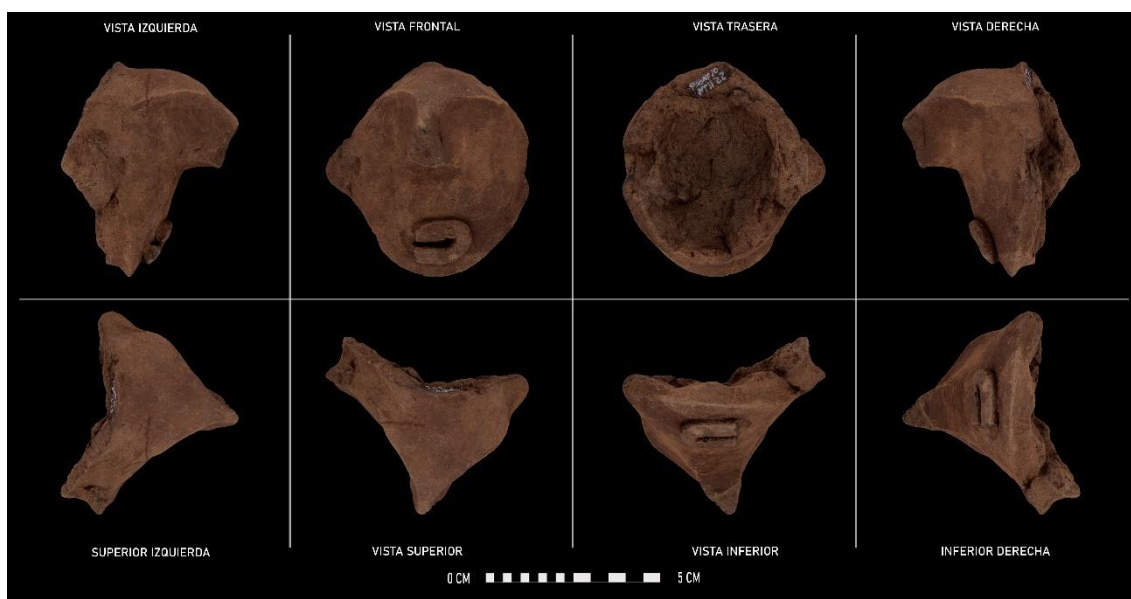


Figura 4.179. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 59 (PASNT/ONT1122). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNR> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 59 se corresponde, de nuevo, con la cabeza cerámica siglada con la referencia PASNT/ONT1122. De nuevo, la pieza se encuentra bastante deteriorada y apenas se conserva parte de la boca y la oreja derecha. Los ojos, parte de la nariz y la

oreja izquierda se habían perdido casi por completo (fig. 4.179). La tonalidad, en este caso, es un marrón grisáceo. Como ocurría con los casos anteriores, esta cabeza antropomorfa formaría parte de una figurilla cerámica parece haber servido como ofrenda durante la parte final del posclásico.

Dado el grado de deterioro de la pieza, se hacía inviable una reconstrucción completa de la figurilla cerámica completa, por lo que se limitó la actuación a una reconstrucción parcial de los rasgos faciales perdidos (fig. 4.180).



Figura 4.180. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la cabeza cerámica que corresponde a la pieza Nº 59. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

Del mismo modo, y con el objetivo de crear una colección de referencia de este grupo de figurillas, se creó una réplica impresa a escala real de la pieza sin reconstruir (fig. 4.181).



Figura 4.181. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 59. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 60 (PASNT/ONT1124)



Figura 4.182. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 60 (PASNT/ONT1124). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXNT> [última visita: 29/11/19].

Como ocurre con el resto de la colección del Nevado de Toluca la pieza Nº 60 corresponde a otra cabeza de cerámica con claros rasgos antropomorfos (fig. 4.182). Del mismo modo, al localizarse en un contexto subacuático de alta montaña como este, su estado de conservación era bastante deficiente. A pesar de ello, aún se conserva el ojo derecho, la nariz completa y la boca, cuya disposición varía sustancialmente con respecto a las piezas precedentes. La boca, en este caso, no la forma un aplique adicional de arcilla en forma de círculo o una acanaladura lineal trazada en la matriz, sino que está conformada por un conjunto de cuatro surcos rasgados pre cocción que asemejan una especie de rejilla. La tonalidad es marrón grisáceo con algunas manchas más oscuras y la disposición de la cabeza, bastante plana, recuerda un poco a la pieza PASNT/ONT1122. Como en la mayoría de los casos anteriores, lo que parece ser una cabeza aislada, quizá formase parte de una figurilla cerámica completa.

Dado el grado de deterioro de la pieza, se hacía inviable una reconstrucción completa de la figurilla cerámica. Por este motivo, se limitó la actuación a una reconstrucción parcial de los rasgos faciales perdidos (fig. 4.183).



Figura 4.183. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la cabeza cerámica que corresponde con la pieza Nº 60. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

Del mismo modo, y con el objetivo de crear una colección de referencia de este grupo de figurillas, se creó una réplica impresa a escala real de la pieza sin reconstruir (fig. 4.184).



Figura 4.184. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 60. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

En resumidas cuentas y tras la experimentación metodológica llevada a cabo sobre las piezas procedentes del Nevado de Toluca (México), se puede concluir lo siguiente:

1. En primer lugar, a pesar de haber estado sometidos a fenómenos de postdeposición tan agresivos como la acción fisicoquímica del agua o choques térmicos tan bruscos, el material procedente del contexto subacuático del Nevado de Toluca no presenta dificultades excesivas a la hora de plantear su digitalización. A excepción de sus reducidas dimensiones, que hicieron necesario el uso de un objetivo macro, la fisionomía típica y las coloraciones mates y rugosas de estas piezas favorecieron la creación de modelos fotogramétricos de una gran calidad.
2. En segundo lugar, del mismo modo que ocurría con el apartado anterior (4.6), el trabajo con piezas procedentes de contextos mesoamericanos, tan alejados de nuestra

sede académica, ponen en evidencia el enorme potencial de un trabajo no presencial dentro del marco disciplinar de la Arqueología. La dinámica de globalización a la que se ve abocada la especie humana enfatiza una realidad que será cada vez más inevitable en nuestra profesión: el trabajo a distancia y cooperativo. Esta situación permitirá que profesionales y especialistas puedan analizar y estudiar, de forma íntegra y sin la necesidad de llevar a cabo un costoso desplazamiento, materiales de prácticamente cualquier parte del mundo. La democratización y el imparable avance de las tecnologías ligadas a la digitalización, impone una nueva forma de hacer Arqueología, la Arqueología a distancia, sobre la que hablaremos más detenidamente en un apartado posterior.

3. En relación con esto último quedan las extraordinarias posibilidades de los trabajos de reconstrucción, restauración y recreación de naturaleza digital. A este respecto, las piezas de la colección SAS Yucatán o las figurillas procedentes del Nevado de Toluca son un claro ejemplo de ello. Las labores de documentación, digitalización y posterior reconstrucción llevadas a cabo sobre ellas ponen de manifiesto el extraordinario valor de esta técnica. Ya no solo cara a la divulgación científica, sino a la difusión del patrimonio entre personas que carecen de formación específica.

4.8 El patrimonio arqueológico prehispánico III. Colección del Museo Instituto de América de Santa Fe – Centro Damián Bayón



Figura 4.185. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas que conforman la colección Centro Damián Bayón.

El siguiente caso de estudio que presentamos corresponde a una pequeña parte de la colección permanente “Altas Culturas Americanas”, compuesta por reproducciones de alta calidad de objetos de arte y arqueología prehispánica, las cuales están expuestas en el edificio El Pósito anexo a la sede principal del Instituto de América de Santa Fe, el Centro Damián Bayón.

La histórica relación de este municipio granadino de Santa Fe con la conquista de América es de sobra conocida y propicia que, durante la celebración del quinto centenario del descubrimiento de América, se decida establecer aquí el Instituto de América. Esta institución dependiente del Ayuntamiento de Santa Fe (Granada) se funda por tanto en 1992 con el objetivo de profundizar en el conocimiento del arte y la cultura americana, así como en su difusión dentro de la propia comunidad municipal y de la provincia de Granada. El centro Damián Bayón, sede física de dicha institución y fundado en 1992, toma su nombre del crítico e historiador del Arte Damián Carlos Bayón (Buenos Aires, 1915-París, 1995), quién donó al Instituto de América su archivo, biblioteca y

colección de fotografía. A todo este conjunto documental se le denomina Legado Damián Bayón.

Este centro consta de tres salas de exposiciones con unos 250 metros lineales de superficie de pared, de una biblioteca destinada a la investigación y de un auditorio donde se ofrecen conciertos y se desarrollan jornadas, congresos y conferencias.

4.8.1 Experimentación y análisis

El objetivo inicial que se perseguía con la digitalización de estas piezas era la puesta en valor de unos recursos patrimoniales prácticamente desconocidos incluso a nivel provincial. Dada su ubicación descentralizada, en un núcleo urbano relativamente alejado de la capital granadina, el Centro Damián Bayón es una institución museística que pasa habitualmente desapercibida en las rutas y trazados turísticos.

Por otro lado, y dado que las piezas estaban prácticamente íntegras, se hacía innecesaria la aplicación de herramientas de reconstrucción o restauración virtual. Igualmente, al tratarse de réplicas y no originales, someterlas a cualquier tipo de análisis de índole virtual resultaba del todo improductivo. De este modo, se decidió centrar la aplicación de fotogrametría multimagén en desarrollar un mecanismo de difusión que supusiese una alternativa real y útil a la visita física o la visualización de representaciones puramente bidimensionales. Para ello, se elaboró en la plataforma de visualización online Sketchfab una colección online de modelos tridimensionales perfectamente interactivos. Este tipo de contenido puede ser compartido de forma mucho más sencilla y rápida, llegando además a un público objetivo mucho más amplio.

Del mismo modo, se planteó la digitalización de esta colección como un campo de pruebas en el que comprobar la eficacia de los *smarthphones* como herramientas de captura fotogramétrica. Para ello se empleó un Huawei P20 pro, un dispositivo móvil de gama media dotado de una cámara triple Leica de 40 MP en su modo de disparo profesional y con una distancia focal óptica variable. Este dispositivo, permite además

ajustar de forma manual parámetros como el ISO, la profundidad de campo o la velocidad de disparo.

El sistema de captura de datos empleado fue, en este caso, similar al del levantamiento fotogramétrico de un objeto de mediano o gran tamaño. Es decir, se prescindió del uso de trípode, caja de luz e iluminación adicional y se giró alrededor del objeto. No al contrario, como suele hacerse en la digitalización de objetos de pequeñas y medianas dimensiones.

En términos generales, la calidad de las fotografías obtenidas con este dispositivo debería haber sido suficiente para la obtención de modelos tridimensionales de calidad.

4.8.2 Resultados

Los resultados obtenidos se desglosan a continuación pieza por pieza. Conviene aclarar que, por motivos de registro y para mantener una coherencia de formato a lo largo de la exposición de los resultados, las piezas han sido ordenadas y numeradas de forma correlativa usando una nomenclatura diferente a la de su sistema de registro original. No obstante, se incluye entre paréntesis, y en caso de tenerlo, su número de sigla original. Asimismo, aquellas piezas que no poseían ningún tipo de signatura, o resultaba difícil su lectura, se identificaron con las siglas S/N y el número correlativo en que digitalizaron dentro de ese conjunto.

Del mismo modo y con el fin de aportar la mayor transparencia posible a todo el proceso de captura, registro, y postprocesado, se decidió crear tanto una ficha como un reporte de cada uno de los modelos tridimensionales. En estos documentos, incluidos en los anexos (Anexos 8.2.6), se pueden consultar todos y cada uno de los datos de la pieza digitalizada.

- PIEZA 61 (S/N 1)



Figura 4.186. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 61 (S/N 1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7GK> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 61 es una réplica de la estatua de la diosa nahuatl de la fertilidad, la vida y la muerte, Coatlicue. Esta se encuentra erguida, va ataviada con una falda, orejeras y tiene incrustaciones de turquesa en la zona de los pómulos (fig. 4.186). La estatua original fue elaborada durante el postclásico mesamericano (1300-1520 d.C.). Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N1.

- PIEZA 62 (S/N 2)



Figura 4.187. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 62 (S/N 2). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7GO> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 62 es una réplica de una estela en bajorrelieve donde se puede observar una figura antropomorfa que representa un guerrero. La pieza original pertenece al Horizonte Medio y se ubica en San Agustín (Colombia). Está realizado en piedra volcánica de tonalidad clara. Su cronología aproximada gira en torno al 500-1000 d.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N2.

La pieza, de grandes dimensiones, se encontraba fijada directamente a la pared, por lo que la parte trasera fue imposible de digitalizar. De ahí que en el montaje solo aparezcan tres puntos de vista (fig. 4.187), en lugar de ocho como viene siendo habitual.

- PIEZA 63 (S/N 3)

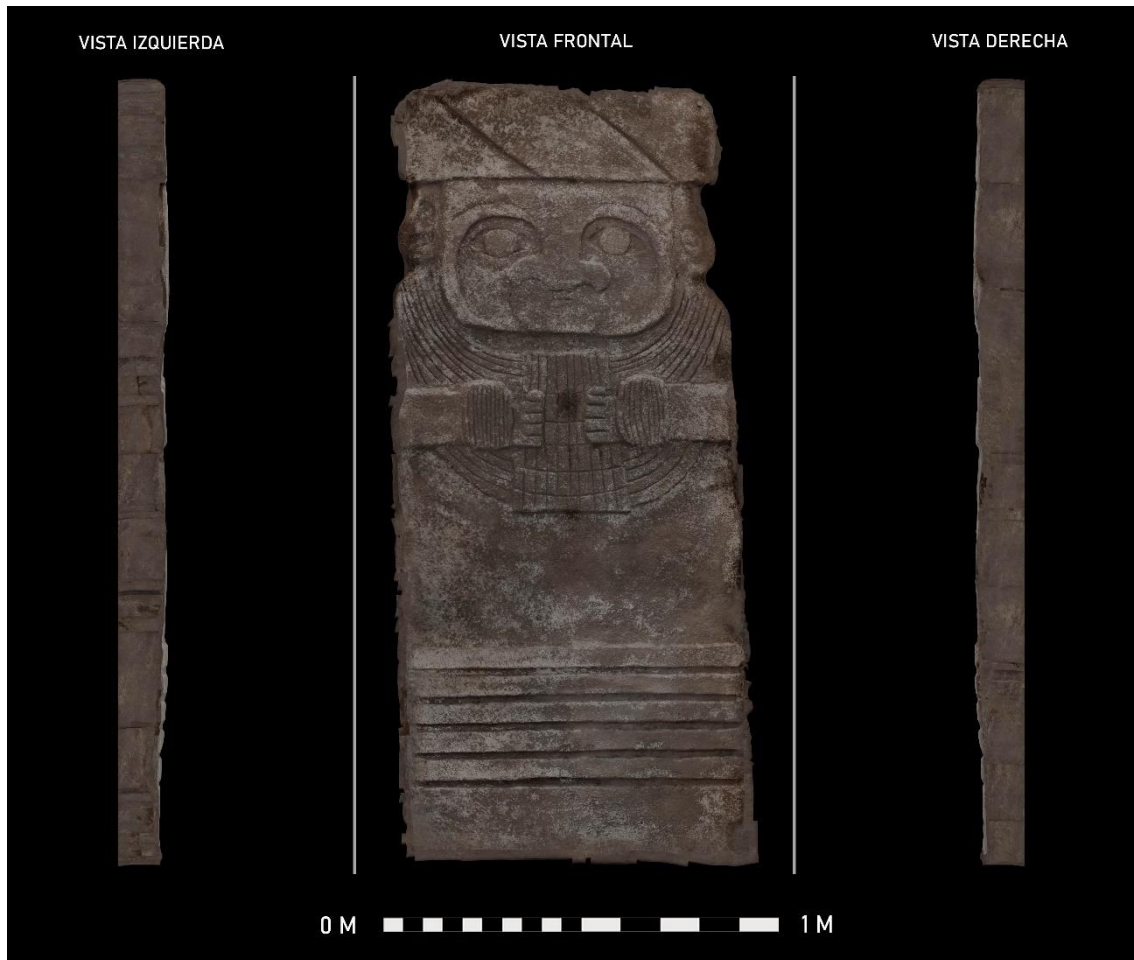


Figura 4.188. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 63 (S/N 3). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7Hx> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 63 es una réplica de otra estela en bajorrelieve donde se puede observar una figura antropomorfa que representa un guerrero. La pieza original, al igual que el caso anterior, pertenece al Horizonte Medio se ubica en San Agustín (Colombia) y está realizado en piedra volcánica de tonalidad gris oscura. Su cronología aproximada gira en torno al 500-1000 d.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N3.

La pieza, de grandes dimensiones, se encontraba fijada directamente a la pared, por lo que la parte trasera fue imposible de digitalizar. De ahí que en el montaje solo aparezcan tres puntos de vista (fig. 4.188) en lugar de ocho como viene siendo habitual.

- PIEZA 64 (S/N 4)

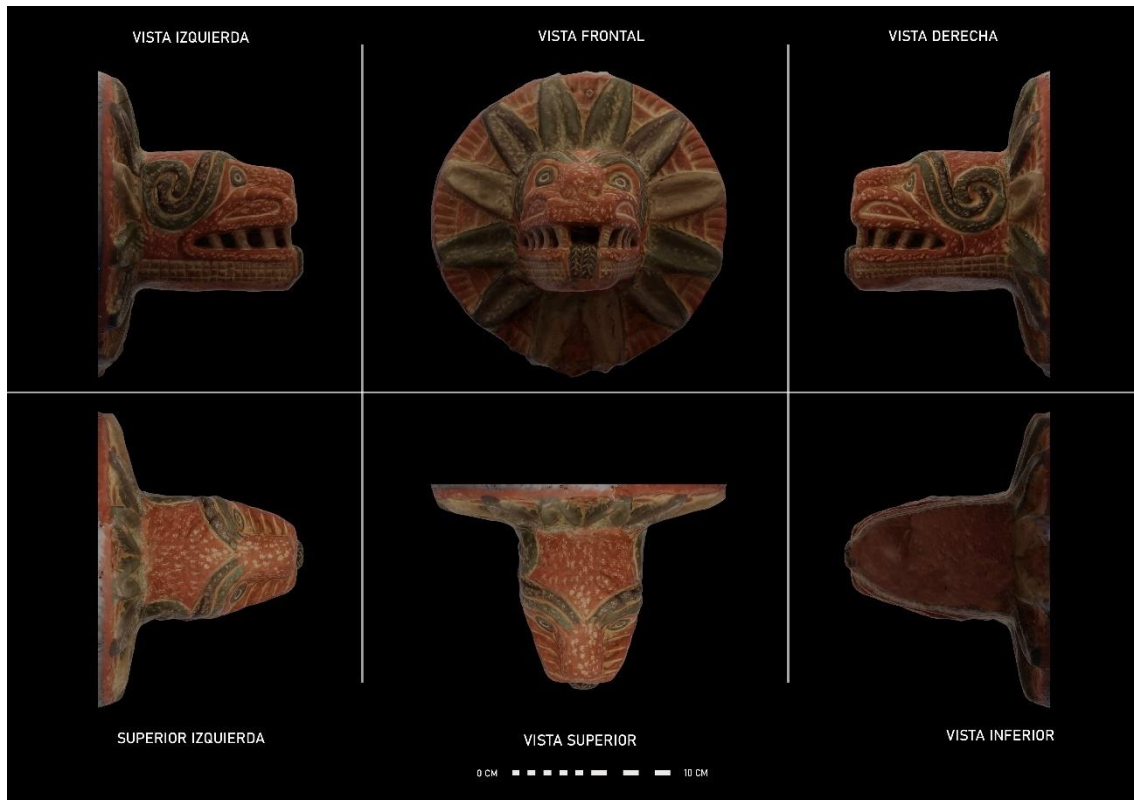


Figura 4.189. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 64 (S/N 4). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7HK> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 64 es una réplica de una escultura policromada en verde y rojo perteneciente a la cultura Teotihuacana y realizada en cerámica. Representa a Quetzalcoatl o la serpiente emplumada. Su cronología aproximada gira en torno al 100-700 d.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N4.

La pieza en este caso se encontraba fijada directamente a la pared y estaba cubierta por una vitrina de vidrio que no podía retirarse. Es por este motivo que la parte trasera fue imposible de digitalizar. De ahí que en el montaje solo aparezcan seis puntos de vista (fig. 4.189) en lugar de ocho como viene siendo habitual.

- PIEZA 65 (S/N 5)

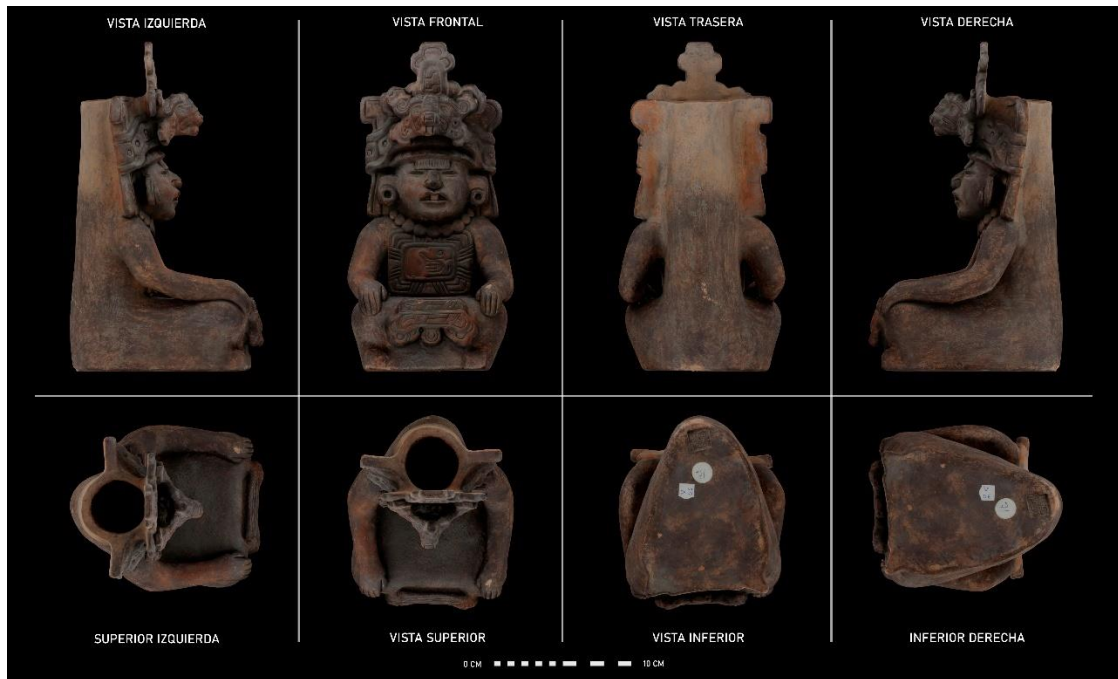


Figura 4.190. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 65 (S/N 5). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7IE> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 65 es una réplica de una urna funeraria de cerámica de la cultura Zapoteca. Presenta una tonalidad rojiza oscura. Representa una figura antropomorfa sedente con un gran tocado, orejeras y con los brazos apoyados sobre las piernas (fig. 4.190).

La cronología aproximada de la pieza original gira en torno al 250-900 d.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N5.

- PIEZA 66 (S/N 6)



Figura 4.191. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 66 (S/N 6). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7lz> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 66 es una réplica de otra urna funeraria cerámica de la cultura Zapoteca. Tonalidad blanquecina. Representa una figura antropomorfa sedente con un gran tocado, orejeras y con los brazos cruzados en el pecho (fig. 4.191).

La cronología aproximada de la pieza original gira en torno al 250-900 d.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N6.

- PIEZA 67 (S/N 7)

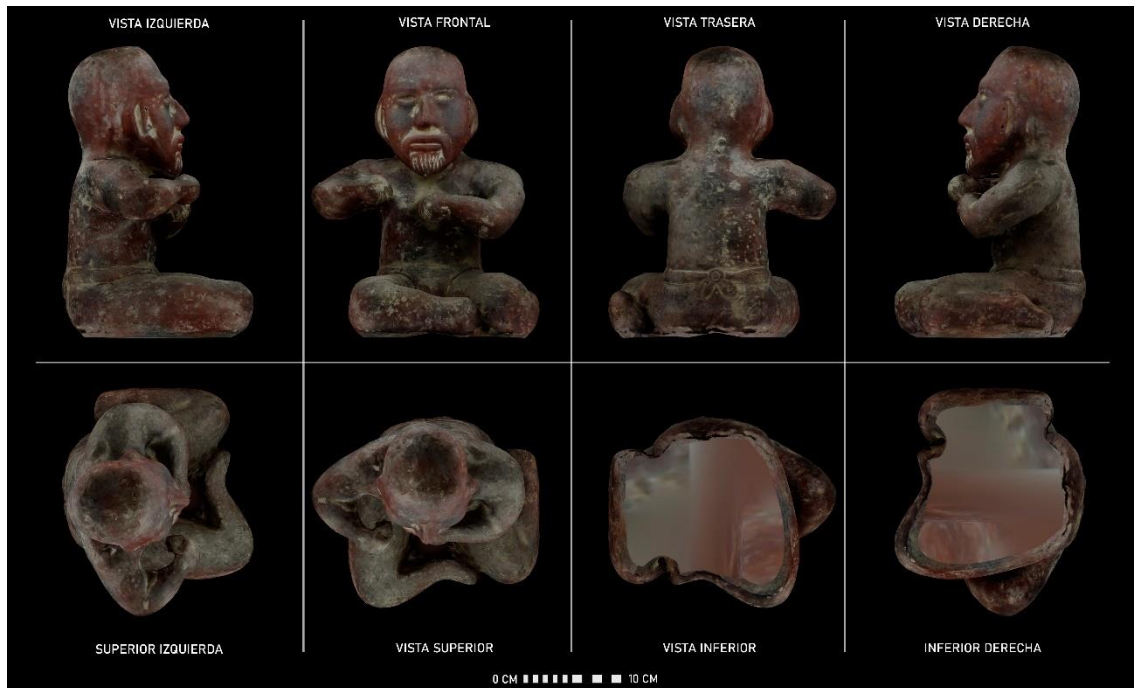


Figura 4.192. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 67 (S/N 7). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6NLLH> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 67 corresponde a una réplica de la famosa figura denominada “El Luchador” creada en el seno de la cultura Olmeca y procedente de la zona de Veracruz (México). La pieza original, realizada en basalto, representa a un guerrero sedente con tallado mediante unas incisiones muy suaves (fig. 4.192).

La cronología de la original oscila en torno al 800-100 a.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N7.

- PIEZA 68 (S/N 8)



Figura 4.193. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 68 (S/N 8). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7I9> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 68 corresponde a una réplica de una figura que representa al dios de la muerte de la cultura totocana Mictlantecuhtli, el señor del Mictlan. De tonalidad rojiza muy oscura, representa la figura sedente de una suerte de esqueleto, en clara alusión al dios de la muerte (fig. 4.193).

La cronología de la pieza original oscila en torno al 250-900 d.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N8.

- PIEZA 69 (S/N 9)

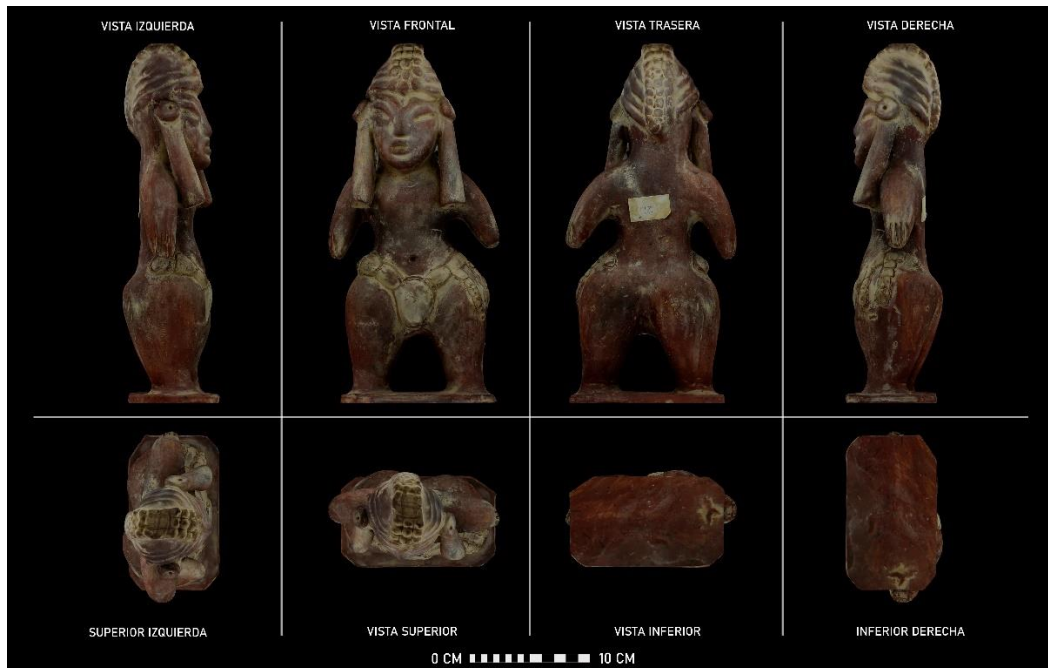


Figura 4.194. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 69 (S/N 9). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6NKKU> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 69 corresponde a una réplica de una figura femenina hecha en terracota y procedente del Golfo de México. La estatuilla, que representa una figura antropomorfa erguida, con caderas anchas y un rico tocado, presenta una tonalidad rojiza oscura (fig. 4.194).

La cronología aproximada de la pieza original oscila en torno al 1000 a.C.- 200 d.C. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N9.

Tras la experimentación llevada a cabo sobre las piezas procedente del Museo Instituto de América de Santa Fe – Centro Damián Bayón (Santa Fe), se puede concluir:

1. A pesar de que algunos dispositivos smartphones permiten ajustar de forma manual parámetros como el ISO, la profundidad de campo o la velocidad de disparo, el margen en que se mueven estos resultaba demasiado limitado para una trabajo de fotogrametría profesional. A pesar de que se optó por un sistema de captura

semiautomatizado, elevando el ISO y al propio dispositivo el cálculo del resto de parámetros, los resultados no fueron del todo satisfactorios.

2. Por otro lado, el trabajo con este tipo de dispositivos presenta algunos inconvenientes a la hora de integrar dichas fotografías dentro de los programas de trabajo fotogramétrico. Tanto en Agisoft Metashape, pero especialmente en Reality Capture, se experimentaron algunos problemas a la hora de reconocer el sensor fotográfico del smartphone. Por este motivo, los modelos procesados presentaban, de forma demasiado frecuente, errores a la hora de realizar el alineamiento de puntos inicial. Adicionalmente, se notó como las mallas geométricas generadas a partir de fotografías capturadas con móviles, presentaban un ruido y rugosidad inexistentes en la pieza original.

3. Es cierto que trabajar con este tipo de dispositivos supone un importante incremento de la comodidad durante el proceso de captura. Son herramientas menos pesadas, más manejables y, habitualmente, con una autonomía de funcionamiento superior. Por otro lado, el sistema de inteligencia artificial que incluyen facilita, de forma considerable, un modo de disparo mucho más ágil.

4. Para la digitalización de elementos sencillos, de mediano o gran tamaño y donde no se requiere una precisión geométrica excesiva, el empleo de dispositivos *smartphones* de gama media puede resultar eficaz. Sin embargo, a la hora de trabajar con materiales de menores dimensiones, y especialmente con un flujo de trabajo donde se integran elementos como la iluminación adicional, cajas de luz, trípodes, etc., sigue siendo preferible el uso de cámaras fotográficas *DSLR* donde sí es posible controlar plenamente todos los parámetros de disparo.

5. Como ya se viene comprobando en subapartados anteriores, las posibilidades que derivan de las nuevas herramientas de digitalización son enormes. Muy especialmente cara a las nuevas vías de difusión que de ellas derivan. La fotogrametría *SfM*, el postprocesado de los modelos, así como las plataformas online como Sketchfab se convierten en alternativas razonablemente viables al turismo tradicional. La creación de repositorios online con colecciones donde las piezas pueden ser exploradas de forma

interactiva y en tres dimensiones, se convierte en una vía atractiva que no trata de sustituir, sino que potencia una nueva forma de concebir el turismo y el consumo cultural en una sociedad cada vez más dependiente de las nuevas tecnologías de la información.

6. En definitiva, la captura mediante smartphones resulta más sencilla y rápida, pero el procesado de estos datos deriva a veces en errores insalvables, modelos incompletos y, en definitiva, piezas digitales de peor calidad. En los últimos años son cada vez más habituales los dispositivos móviles de bajo coste y que incorporan prestaciones fotográficas casi profesionales y con distancias focales variables. El camino es el correcto y, muy pronto, las aparatosas cámaras con lentes intercambiables podrán ser sustituidas por ellos. El empleo masivo de smartphones para levantamientos fotogramétricos de escala variable es una realidad, sin duda, inevitable.

4.9 Proyecto “Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)”.



Figura 4.195. Montaje y renderizado en Blender con la selección de algunas de las piezas que conforman la colección del proyecto medialab “Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)”.

Ante el imparable avance de las Humanidades Digitales (Schreibman *et al.*, 2004: 15-600), la Universidad de Granada se encuentra ante la necesidad, cada vez más acuciante, de generar espacios académicos de encuentro y trabajo ligados a este campo específico de las nuevas tecnologías. De esta forma, y ligado al Vicerrectorado de Investigación y Transferencia, nace en 2015 la iniciativa Medialab Ugr (laboratorio de investigación en Cultura y sociedad digital). Este laboratorio social dedicado a la tutela y fomento de propuestas enfocadas a la innovación digital se encuentra estrechamente relacionado con la filosofía de los ya mencionados *makerplaces*. Medialab Ugr se convierte así en un lugar de encuentro entre la Universidad, el mundo digital y la propia sociedad.

Entre sus muchas competencias, Medialab UGR se encarga de promocionar el desarrollo de investigaciones que empleen las tecnologías digitales como uno de sus recursos principales. Esto se materializa gracias a la creación de convocatorias abiertas donde es

posible solicitar ayudas económicas y otros recursos necesarios para la ejecución de proyectos de esta índole. En un contexto institucional y académico como este, el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, encabezado por el catedrático Andrés María Adroher Auroux y un equipo interdisciplinar, obtiene en la convocatoria de 2017 la concesión de uno de estos proyectos. Con ello, comienza la propuesta “Virtual 3D UGR”, cuya seña de identidad ha pivotado siempre en torno a la idea de apertura, del *open source* o de la también conocida como “ética hacker”. En definitiva, una nueva vía para difundir el conocimiento, “desacademizarlo” y evitar así que el impacto científico sea el único aspecto cuantificable de su valor. Solo de esta forma se consigue que sus beneficios reviertan directamente en la sociedad.

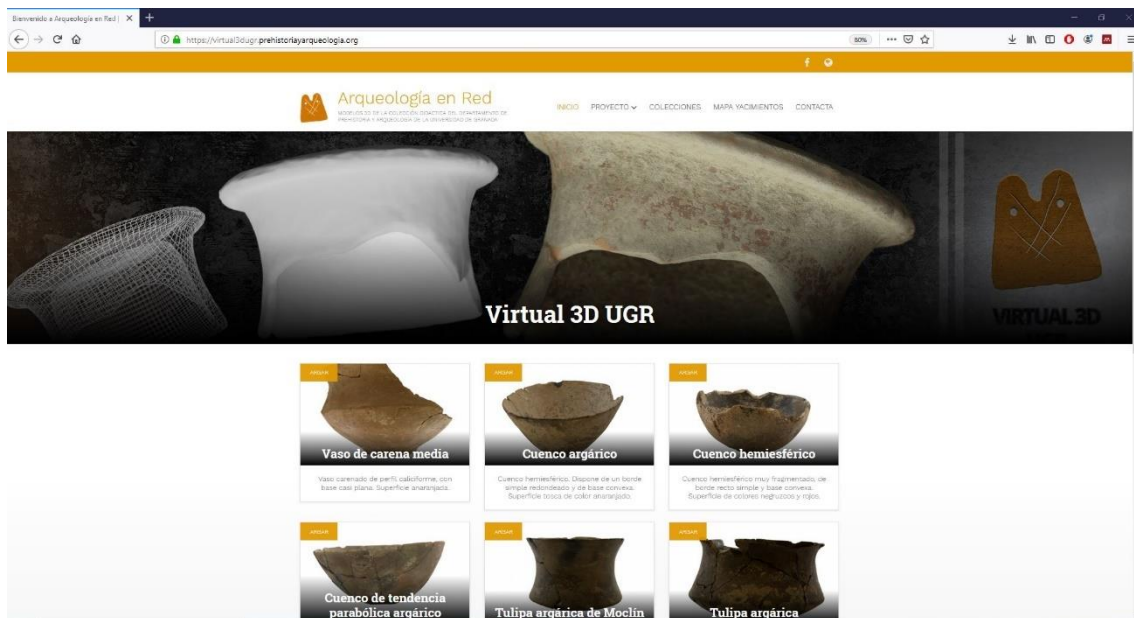


Figura 4.196. Página Web desarrollada por el equipo de trabajo del proyecto Virtual 3D UGR, al cual se adscribe el autor de la presente tesis, en el marco del proyecto “Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)”. La página puede ser consultada a través de la siguiente dirección URL: <https://virtual3dugr.prehistoriayarqueologia.org/> [última consulta: 01/11/2019].

El principal objetivo del proyecto Virtual 3D UGR supone, por tanto, un importante esfuerzo colaborativo. Gracias a ello, ha sido posible la creación de modelos fotogramétricos de un gran parte de las colecciones de referencia que posee el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, así como los propios grupos de investigación adscritos a él.

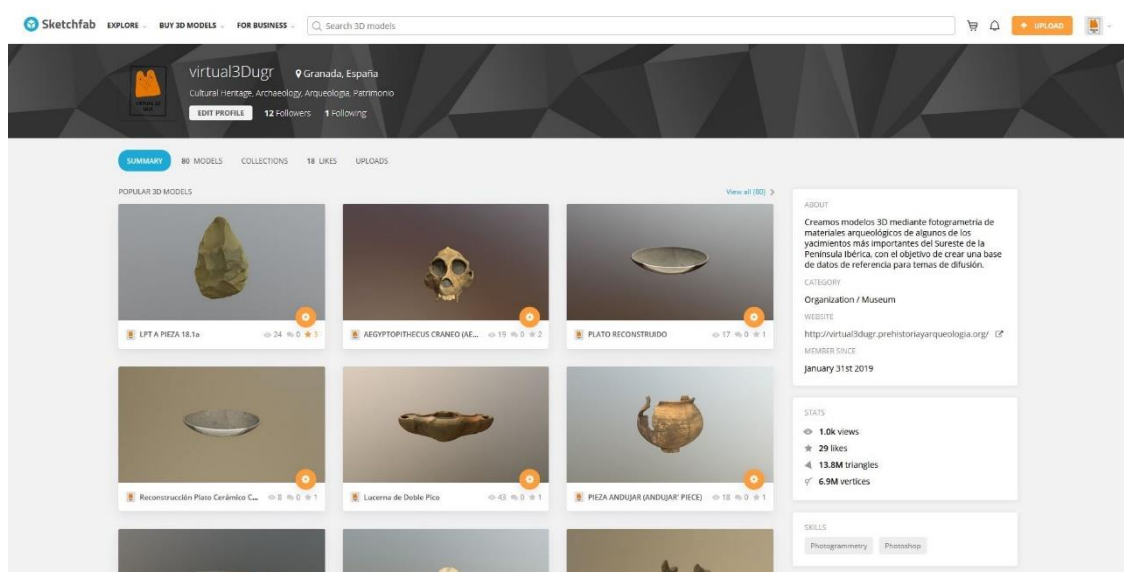


Figura 4.197. Perfil en Sketchfab (izquierda) y página Web desarrollada durante el proyecto Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR).

PERFIL SKETCHFAB	PAÍS DE ORIGEN	AÑO APERTURA	VISUALIZACIONES TOTALES	LIKES TOTALES
British Museum	Reino Unido	2014	1.000.000	10.500
Morbase Museu Virtual	Portugal	2014	47.300	965
Auckland Museum	Nueva Zelanda	2015	36.600	904
Museo Arqueológico Nacional	España	2015	30.900	299
Museo Nacional de Antropología	México	2015	23.500	145
Museo Archeologico Nazionale di Napoli	Italia	2016	12.800	221
Museo Virtual del Cerro Bilanero	España	2015	8700	191
Museo de Pontevedra	España	2016	7300	208
Virtual 3D UGR	España	2019	1000	29
Museo de Arqueología Subacuática	México	2016	536	4

Figura 4.198. Tabla donde se compara el grado de repercusión mediática de algunos perfiles de Sketchfab relacionados con el ámbito del patrimonio cultural y la Arqueología. Entre ellos, el perfil de reciente creación Virtual 3D UGR.

La elaboración de todo este material tridimensional culmina con la creación de un perfil en el repositorio online Sketchfab (Sketchfab, 2012), así como la elaboración de una plataforma web propia (figs. 4.196 y 4.197). Ligados ambos al propio Departamento de Prehistoria y Arqueología, estos pueden ser consultados no solo por investigadores y

estudiantes de todo el mundo, sino por todas aquellas personas interesadas en el conocimiento de la Prehistoria, Protohistoria y la Época Clásica del sur peninsular (fig. 4.198).

4.9.1 Experimentación y análisis. Una herramienta docente, educativa y de difusión

El desarrollo del proyecto Virtual 3D UGR ha supuesto la integración de la fotogrametría *SfM* como una herramienta docente de doble sentido. Por un lado, el valor didáctico intrínseco a los objetos digitales que de ella derivan es un hecho innegable. Sin embargo, los modelos fotogramétricos se convierten también en recursos pedagógicos extraordinarios. Una tendencia esta que se repite, ya no solo en los estadios iniciales de la educación, sino en cualquier programa docente, incluido el ámbito propiamente universitario.

Como docentes, la experiencia nos insta a introducir este tipo de recursos audiovisuales en asignaturas de grados universitarios o de máster. Su uso proporciona, en definitiva, resultados realmente positivos que no han de pasarse por alto. Por un lado, mejora de forma significativa la comprensión, por parte del alumnado, de la base teórica necesaria en cualquier materia. En consecuencia, el desarrollo de las clases se ve ampliamente dinamizado, facilitando asimismo la propia actividad docente. Por otro lado, el alumnado cuenta además con unos recursos a los que puede acceder y manipular mediante mecanismos o vías que le resultan familiares. En efecto, tanto internet como los dispositivos informáticos, o algunas redes sociales, son medios que el alumno emplea habitualmente en su tiempo de ocio.

Obviamente no todo son ventajas y, en efecto, los peligros que derivan del uso y abuso masivo de la Web son una realidad innegable. Sin embargo, mediante el empleo adecuado y coherente de Internet, y de las redes sociales, estas pueden llegar a convertirse en un valioso activo para el educador. Los recursos alojados en páginas como Sketchfab son completamente interactivos, pueden ser visualizados, compartidos e

incluso descargados a través de dispositivos de uso tan habitual como son, por ejemplo, los smartphones.

El segundo beneficio de carácter docente que dimana de la técnica fotogramétrica se centra en una vertiente mucho más instructiva. La fotogrametría no solo proporciona recursos digitales de apoyo docente de gran interés, sino que se convierte en un método de formación en sí misma. Su utilidad práctica y sencillez a la hora de aprehender los rudimentos básicos, suscita un interés cada vez mayor dentro del alumnado.

Conscientes de ello, durante las distintas fases de ejecución del proyecto se estableció un programa de prácticas formativas. De esta forma, estudiantes procedentes de grados como el de Arqueología o el de Historia adquirieron las nociones básicas de la fotogrametría permitiéndoles así colaborar en el proyecto y en la difusión de los resultados obtenidos en él. A este respecto, la necesidad de formar profesionales capaces de emplear estas herramientas digitales de forma totalmente natural, se convierte en una obligación dentro de un mundo cada vez más tecnificado y exigente. En los próximos años, las técnicas como la fotogrametría convergente deberían convertirse en una realidad tan habitual en Arqueología como lo son ahora la fotografía convencional o los *softwares* de procesamiento de texto.

El trabajo conjunto entre los investigadores, docentes y alumnos del proyecto Virtual 3D UGR ha dado como resultado la elaboración de un vasto conjunto de más de 100 piezas tridimensionales cuya naturaleza, procedencia y cronología son tan diversas como excepcionales. Estas pueden ser consultadas de forma interactiva, y con toda la información referente a las piezas originales, a través de la página web desarrollada por el equipo (fig. 4.196). Igualmente, siendo la propensión natural de este tipo de proyectos mirar hacia la apertura y liberalización del conocimiento, los modelos digitales están disponibles para su descarga y posterior visualizado *offline*. Siguiendo esta dinámica de accesibilidad, este tipo de modelos fotogramétricos resultaban idóneos para la aplicación sobre ellos de procedimientos de postprocesado enfocados a su difusión, reconstrucción y recreación digital.

Así, y de forma adicional, sobre una selección inicial de 20 piezas se han llevado a cabo tareas de reconstrucción, restauración y recreación virtual enfocadas a la difusión y accesibilidad de este conocimiento. Igualmente, y como parte de la labor de esta tesis doctoral, se han preparado dichos modelos para su impresión 3D. De esta forma, gracias al empleo del *software* de laminado Ultimaker Cura, los materiales seleccionados pueden ser descargados de forma gratuita en formato *.gcode*. Igualmente, los modelos ya listos para su impresión se adjuntan en el apartado de anexos de la presente tesis (Anexos 8.4). Este tipo de formato digital es perfectamente compatible con los nuevos y económicos dispositivos de impresión presentes en el mercado. De esta forma, es posible crear colecciones físicas de referencia en prácticamente cualquier parte del mundo de forma rápida, sencilla, económica y adaptada a un nuevo tipo de alumnado que, cada vez con mayor vehemencia, demanda este tipo de dinámicas educativas.

4.9.2 Resultados

Los resultados obtenidos se desglosan a continuación pieza por pieza. Conviene aclarar que, por motivos de registro y para mantener una coherencia de formato a lo largo de la exposición de los resultados, las piezas han sido ordenadas y numeradas de forma correlativa usando un sistema diferente a su siglado original. No obstante, se incluye entre paréntesis, y en caso de tenerlo, su número de sigla original. Asimismo, aquellas piezas que no poseían ningún tipo de signatura, o resultaba difícil su lectura, se identificaron con las siglas S/N y el número correlativo en que digitalizaron dentro de ese conjunto.

Del mismo modo y con el fin de aportar la mayor transparencia posible a todo el proceso de captura, registro, y postprocesado, se decidió crear tanto una ficha como un reporte de cada uno de los modelos tridimensionales. En estos documentos, incluidos en los anexos (Anexos 8.2.7), se pueden consultar todos y cada uno de los datos de la pieza digitalizada.

- PIEZA 70 (M833)



Figura 4.199. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 70 (M833). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6H6WY> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 70 corresponde a un soporte ibérico de cerámica procedente del Cerro de la Encina (Monachil, Granada) cuyo número de registro original era M833 (fig.4.199). Presenta una tonalidad beige y le falta parte de la pared, por lo que se le fue necesario aplicar procedimientos de reconstrucción virtual (fig. 4.200). Del mismo modo, con el objeto de favorecer la comprensión en torno al uso de este tipo de artefactos, se llevó a cabo una recreación hipotética de la forma en que funcionaba la pieza (fig. 4.201). Por último, los resultados fueron posteriormente impresos (fig. 4.202). En este caso, se decidió generar una réplica en PLA con la parte faltante ya reconstruida.



Figura 4.200. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de la pieza N° 70. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.



Figura 4.201. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico con prótesis no mimética de la pieza N° 70.



Figura 4.202. Recreación realizada en Blender donde se ejemplifica el posible uso que podrían haber tenido este tipo de soportes cerámicos.

- PIEZA 71 (CM/87/4/IV/S/1/1)

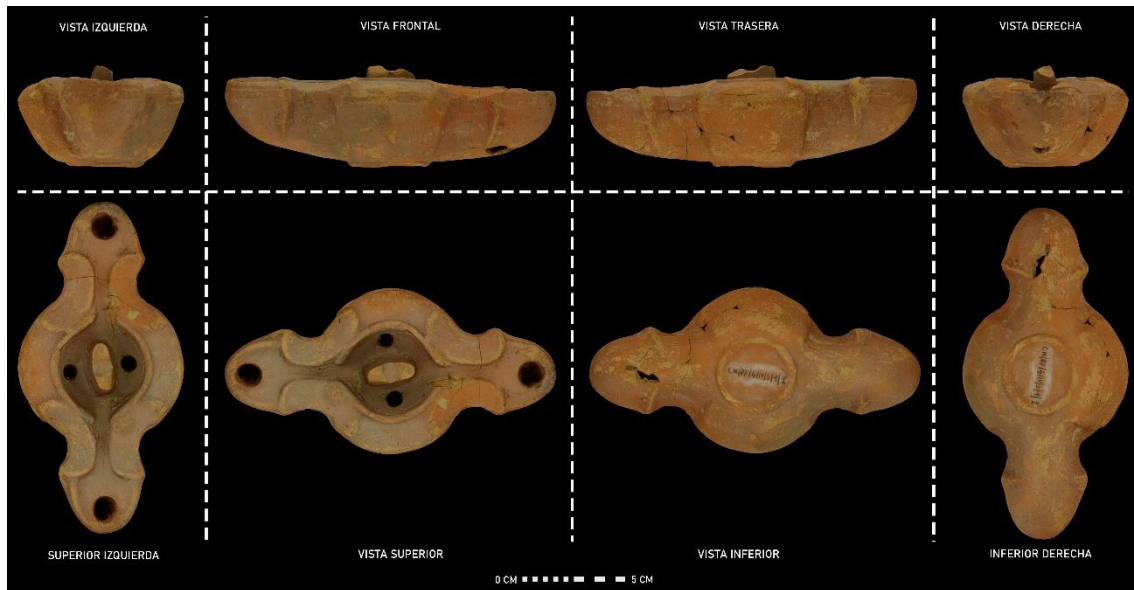


Figura 4.203. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 71 (CM/87/4/IV/S/1/1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6lMQv> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 71 corresponde a una lucerna de cerámica y doble pico de época clásica hallada durante los trabajos de campo llevados a cabo en el Cerro de la Mora (Moralda de Zafayona, Granada) en la campaña de 1987 (fig. 4.203). La tonalidad varía del beige claro a un marrón anaranjado con la superficie pulida en algunos puntos. Originalmente la pieza fue registrada con las siglas CM/87/4/IV/S/1/1.



Figura 4.204. Reconstrucciones y recreaciones integrales y con acabado mimético llevadas a cabo en Blender a partir del modelo reconstruido de la pieza Nº 71.

En términos generales, el estado de conservación de la pieza era bastante bueno. No obstante, la lucerna había perdido gran parte de su estructura portante. Esta, junto a algunas zonas fracturadas, fueron reconstruidas digitalmente en Blender. Al mismo tiempo se llevaron a cabo algunas recreaciones en torno a su posible disposición y forma de uso (fig. 4.204). Por último, la pieza fue impresa, tanto en su versión digital reconstruida, como el modelo fotogramétrico original (fig. 4.205).



Figura 4.205. Réplicas en ácido poliláctico (PLA) llevadas a cabo a partir del modelo fotogramétrico original (izquierda) y el modelo reconstruido con acabado mimético (derecha) de la pieza N° 71. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.

- PIEZA 72 (18810/005-1)



Figura 4.206. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 72 (18810/005-1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6HBot> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 72 corresponde a una pesa de telar de época calcolítica procedente de una prospección realizada en la zona del municipio de Baza (Granada). Presenta una tonalidad anaranjada y se aprecian gruesos desgrasantes en la pasta cerámica. Originalmente, esta fue registrada con las siglas 18810/005-1 (fig. 4.206).

La pieza se encontraba parcialmente fracturada, habiendo desaparecido gran parte de su zona inferior. Por este motivo se decidió llevar a cabo una reconstrucción y recreación de índole virtual (figs. 4.207 y 4.208).



Figura 4.207. Diferentes pasos del proceso de reconstrucción digital llevado a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 72. De izquierda a derecha, modelo original, reconstrucción con prótesis digital no mimética, modelo digital reconstruido con acabado mimético y pieza recreada.



Figura 4.208. Recreación ideal donde se ejemplifica el uso de este tipo de pesas y cómo podría haber sido un telar durante el período del Cobre en la zona del altiplano granadino. El proceso fue llevado a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 72.

El último paso de este flujo de trabajo, consistió en la preparación de un modelo segmentado (fig. 209). Un archivo ya preparado para su posterior impresión 3D y que puede descargarse de forma totalmente gratuita.

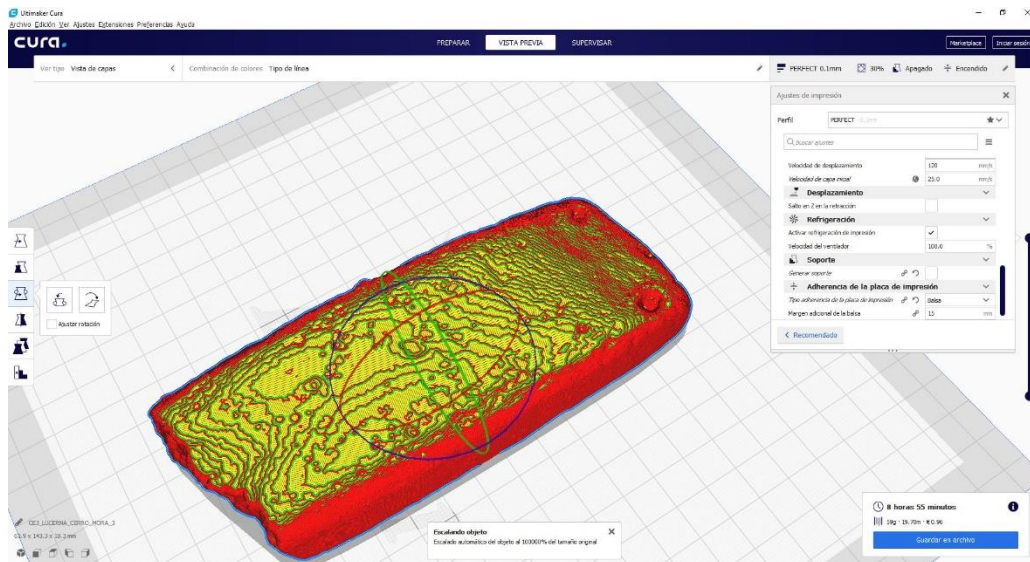


Figura 4.209. Modelo de la pieza N° 72 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 73 (LPTA2.1A)

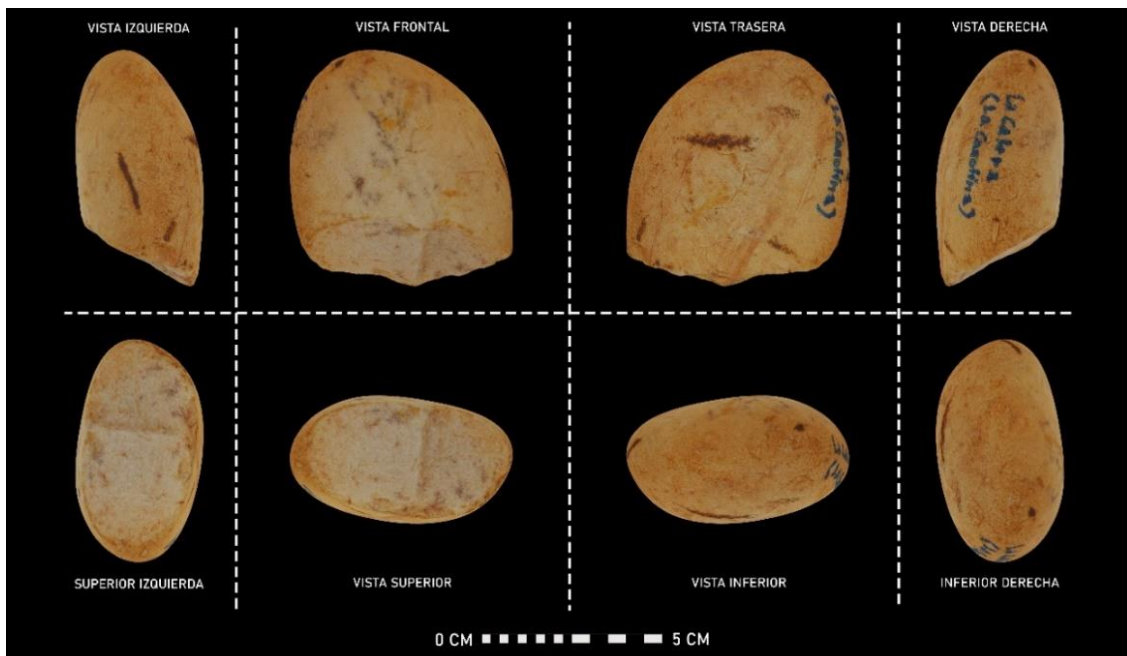


Figura 4.210. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 73 (LPTA2.1A). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6HzID> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 73 corresponde a material lítico con alteraciones mecánicas y procedente de La Calera (La Carolina, Jaén). La pieza original fue registrada con la referencia LPTA2.1a (fig. 4.210). La pieza se encuentra en un estado de conservación excelente, por lo que no fue necesario aplicar ningún tipo de procedimiento digital adicional.

La digitalización de este tipo de material arqueológico reviste una dificultad especial. Este material lítico en concreto presenta una superficie excesivamente lisa y brillante. A ello se debe sumar la homogeneidad cromática. Todo ello, en conjunto, reduce considerablemente la eficacia de la fotogrametría convergente. No obstante, mediante una iluminación adecuada es posible obtener modelos tridimensionales de alta precisión como los que se presentan aquí.

Por último, se preparó el modelo para su posterior impresión (fig. 4.211). El archivo gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

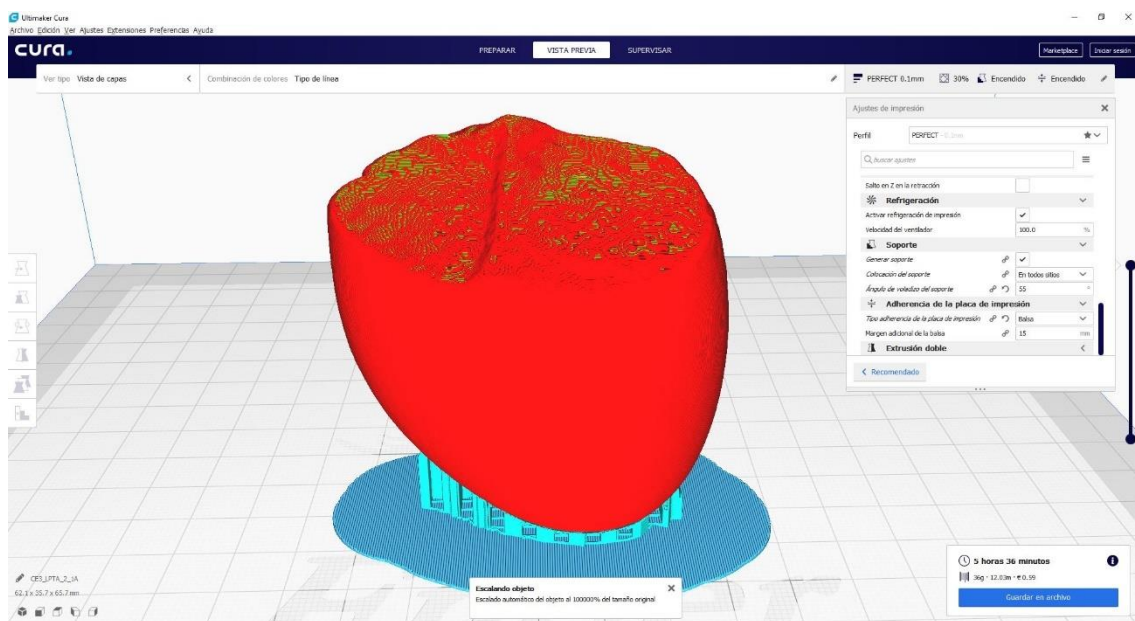


Figura 4.211. Modelo de la pieza Nº 73 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 74 (LPTA5a)



Figura 4.212. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 74 (LPTA5a). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXON> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 74 corresponde a material lítico con alteraciones mecánicas y procedente Casas del Río (Ciudad Real). La pieza original fue registrada con la referencia LPTA5a (fig. 4.212).

Al igual que ocurría con el caso anterior, la pieza se encuentra en un estado de conservación excelente, por lo que no fue necesario aplicar ningún tipo de procedimiento digital adicional.

Por último, se preparó el modelo para su posterior impresión (fig. 4.213). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

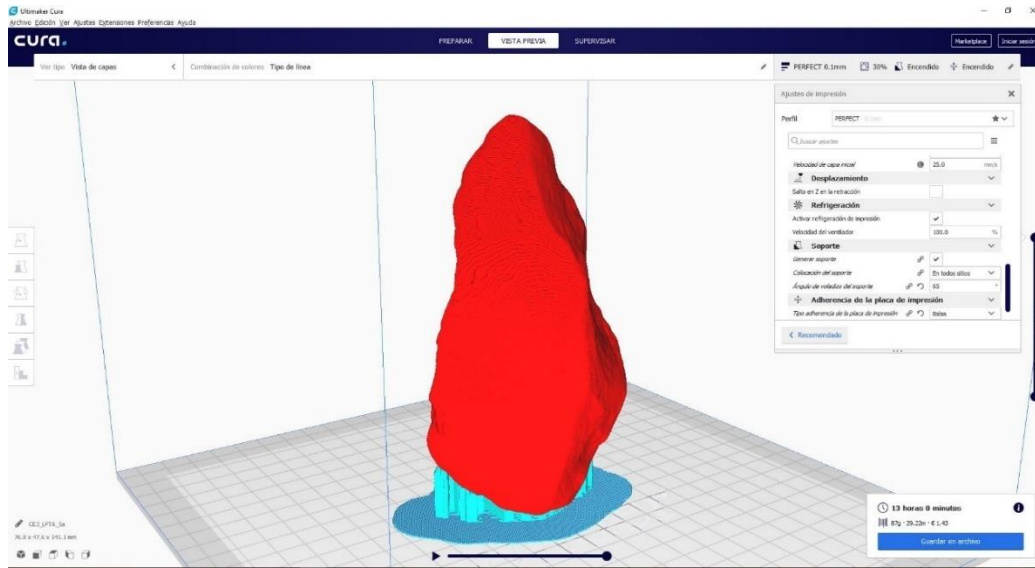


Figura 4.213. Modelo de la pieza N° 74 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 75 (12692)

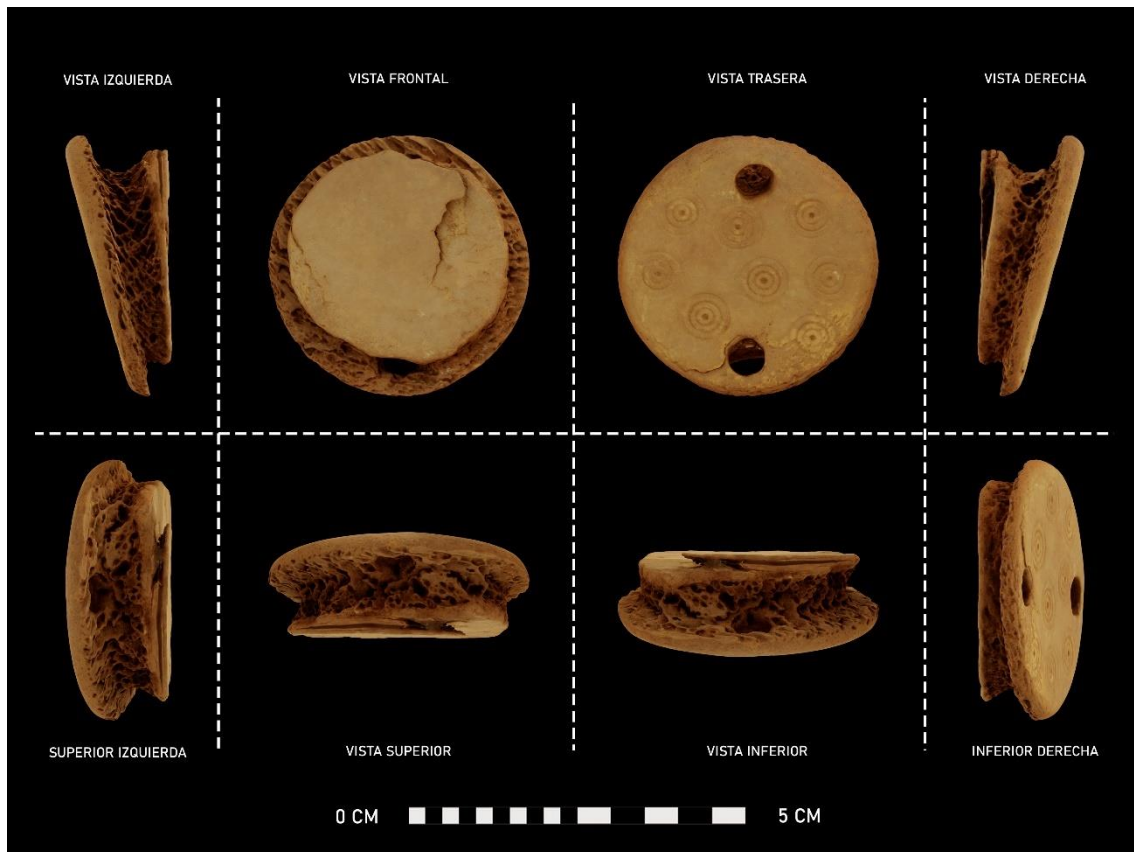


Figura 4.214. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 75 (12692). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7JO> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 75 corresponde a un medallón tallado en hueso y procedente de la cueva de Biniadrís (Menorca). Tiene grabados motivos en forma de círculos concéntricos y presenta dos grandes horadaciones por las que, probablemente, se introduciría algún tipo de cordel. Su tonalidad es amarillenta y su superficie tiene un ligero brillo. Su cronología aproximada puede establecerse en torno al 1200 a.C. (Altamirano y Alarcón, 2018: 108). Inicialmente la pieza fue registrada con la referencia 12692, según el sistema empleado durante las excavaciones llevada a cabo en la cueva (fig. 4.214).

El medallón se conservó en perfecto estado, por lo que no fue necesaria la aplicación de herramientas de reconstrucción o restauración virtual.

Por último, se preparó el modelo para su posterior impresión (fig. 4.215). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

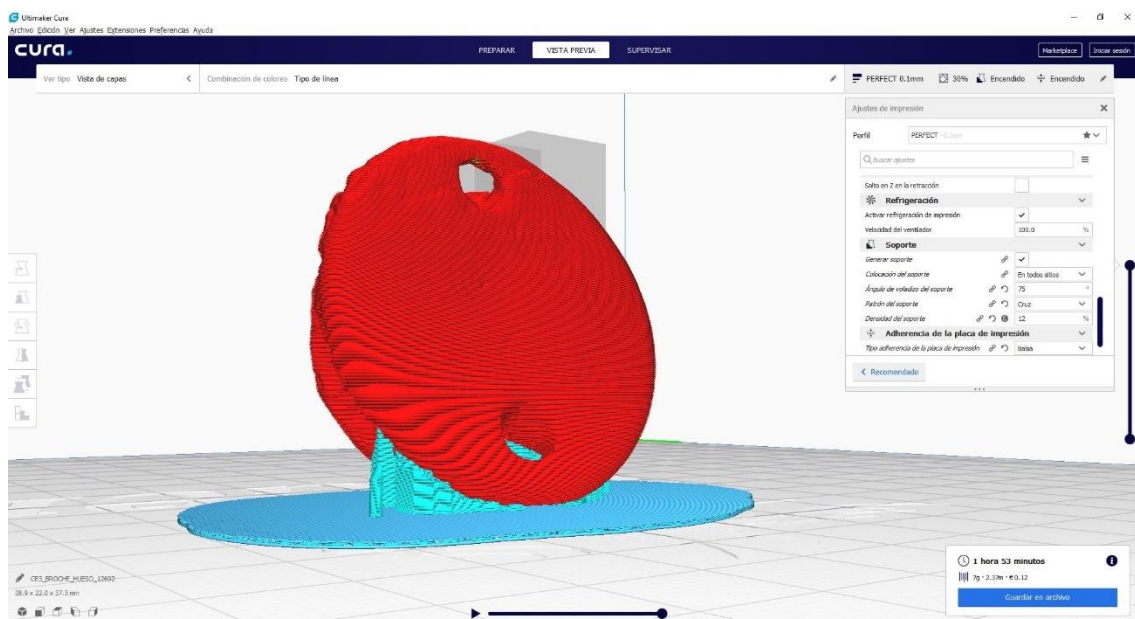


Figura 4.215. Modelo de la pieza Nº 75 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del software Ultimaker Cura.

- PIEZA 76 (12923)



Figura 4.216. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza 76 (12923). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7K8> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 76 corresponde a un botón de material óseo y de muy pequeño tamaño procedente de la cueva de Biniadrís (Menorca). Su cronología de uso aproximada puede establecerse en torno al 1200 a.C. (Altamirano y Alarcón, 2018: 108). Presenta un agujero que ocupa casi toda su parte central para, se intuye, pasar algún tipo de cordel y crear así un sistema de abotonaje tipo trenca. Su tonalidad es marrón amarillento y su superficie ligeramente brillante. Inicialmente la pieza fue registrada con la referencia 12923, según el sistema empleado durante las excavaciones llevada a cabo en la cueva (fig. 4.216).

Sorprendentemente este medallón se conservó en perfecto estado. Por este motivo se decidió prescindir de las herramientas de reconstrucción o restauración virtual.

Por último, se preparó el modelo para su posterior impresión (fig. 4.217). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

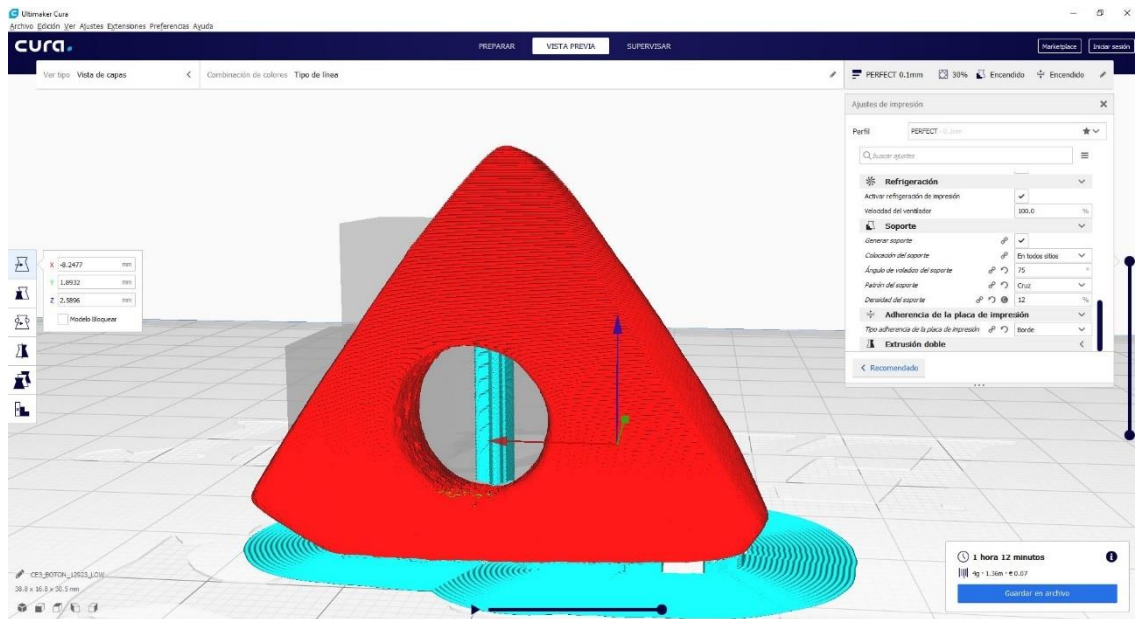


Figura 4.217. Modelo de la pieza Nº 76 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 77 (11098)



Figura 4.218. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 77 (11098). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6JrNu> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 77 corresponde a un fragmento de cerámica procedente de la cueva de Biniadrís (Menorca), cuya cronología de uso aproximada puede establecerse en torno al 1200 a.C. (Altamirano y Alarcón, 2018: 108). El recipiente cerámico tiene una tonalidad marrón grisácea y una textura porosa debida a los procesos de postdeposición sufridos en la cueva. Inicialmente la pieza fue registrada con la referencia 11098, según el sistema empleado durante las excavaciones llevada a cabo en la cueva (fig. 4.218).

En este caso, sí que fue necesaria la aplicación de herramientas de reconstrucción virtual con el objetivo de reponer la parte faltante de la pieza (fig. 4.219). Conjuntamente, el modelo ya reconstruido fue preparado para su posterior impresión (fig. 4.220). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.



Figura 4.219. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético (derecha), junto al modelo fotogramétrico original (izquierda) de la pieza Nº 77. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

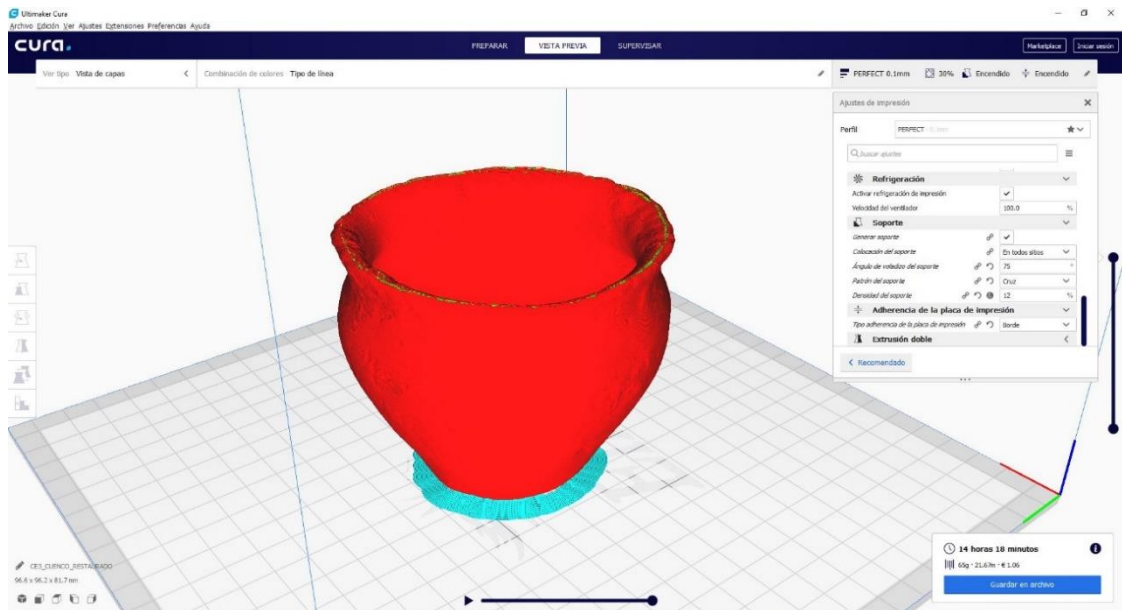


Figura 4.220. Modelo de la pieza N° 77 reconstruida con acabado mimético segmentado y preparado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 78 (14919)

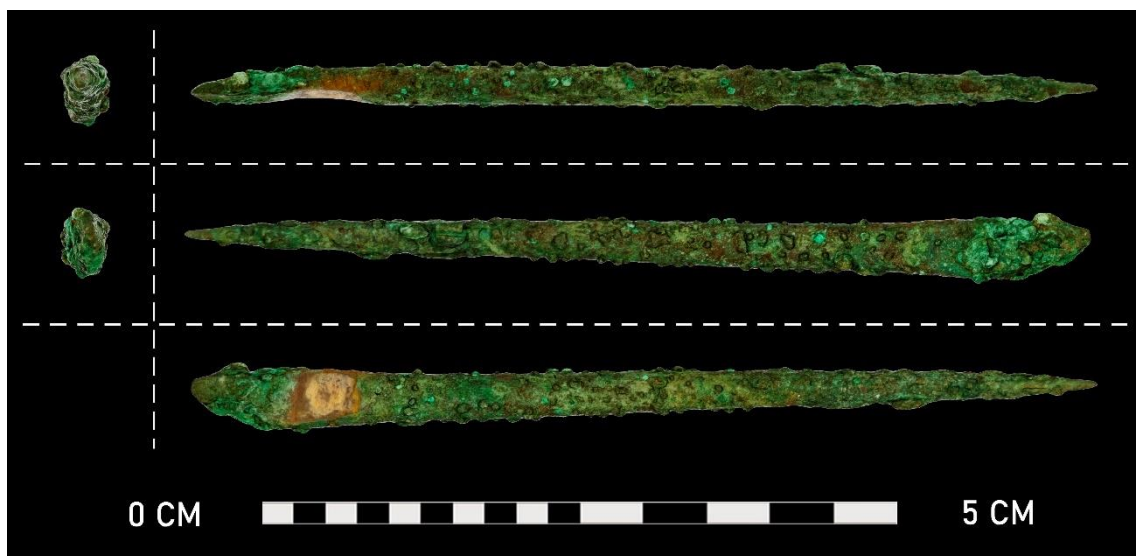


Figura 4.221. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 78 (14919). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6JsGA> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 78 corresponde a un punzón metálico procedente de la cueva de Biniadrís (Menorca), cuya cronología de uso aproximada puede establecerse en torno al 1200 a.C. (Altamirano y Alarcón, 2018: 108). El punzón presenta una tonalidad verdosa en gran parte de su superficie con claro signos de concreción y oxidación metálica en forma de

protuberancias alrededor de toda la pieza. Inicialmente la pieza fue registrada con la referencia 11098, según el sistema empleado durante las excavaciones llevada a cabo en la cueva (fig. 4.221). Igualmente, presenta una pequeña muesca en la zona más gruesa, fruto de la toma de muestras para un análisis metalográfico, que deja a la vista la sección natural del metal bronce.

Por último, se preparó el modelo para su posterior impresión (fig. 4.222). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

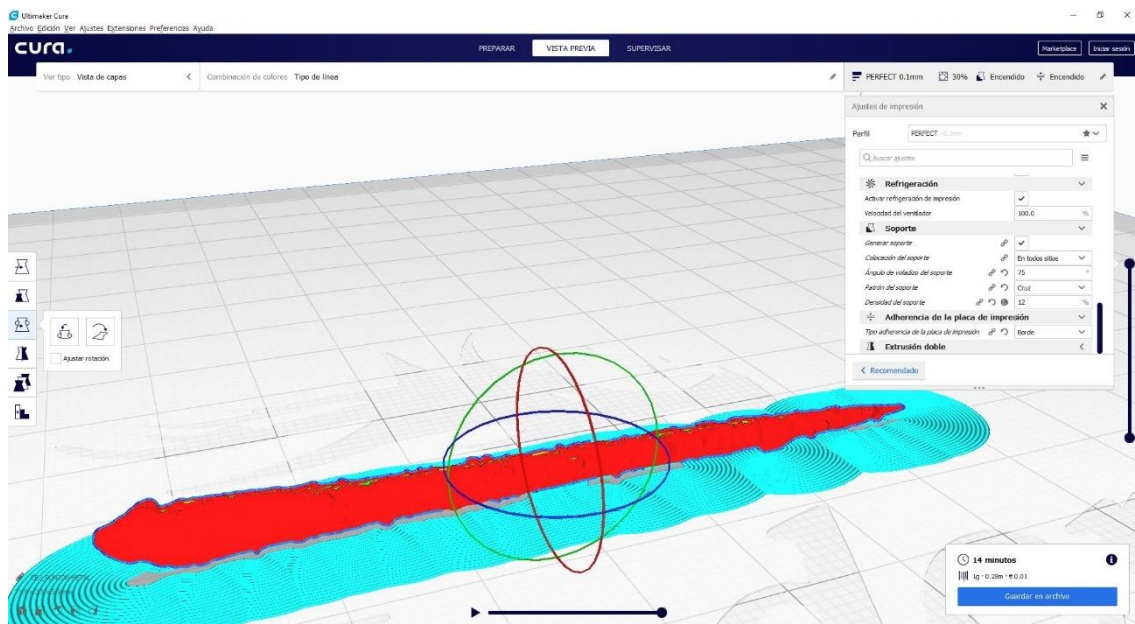


Figura 4.222. Modelo de la pieza N° 78 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 79 (1899)



Figura 4.223. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 79 (1899). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7KE> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 79 corresponde a una pulsera de metal procedente también de la cueva de Biniadrís (Menorca), cuya cronología de uso aproximada puede establecerse en torno al 1200 a.C. (Altamirano y Alarcón, 2018: 108). Inicialmente la pieza fue registrada con la referencia 11098, según el sistema empleado durante las excavaciones llevada a cabo en la cueva (fig. 4.223).

La pieza se encuentra en un estado de preservación excelente, por lo que no fue necesario aplicar ningún tipo de reconstrucción virtual.

El último paso consistió en la preparación del modelo para su posterior impresión (fig. 4.224). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

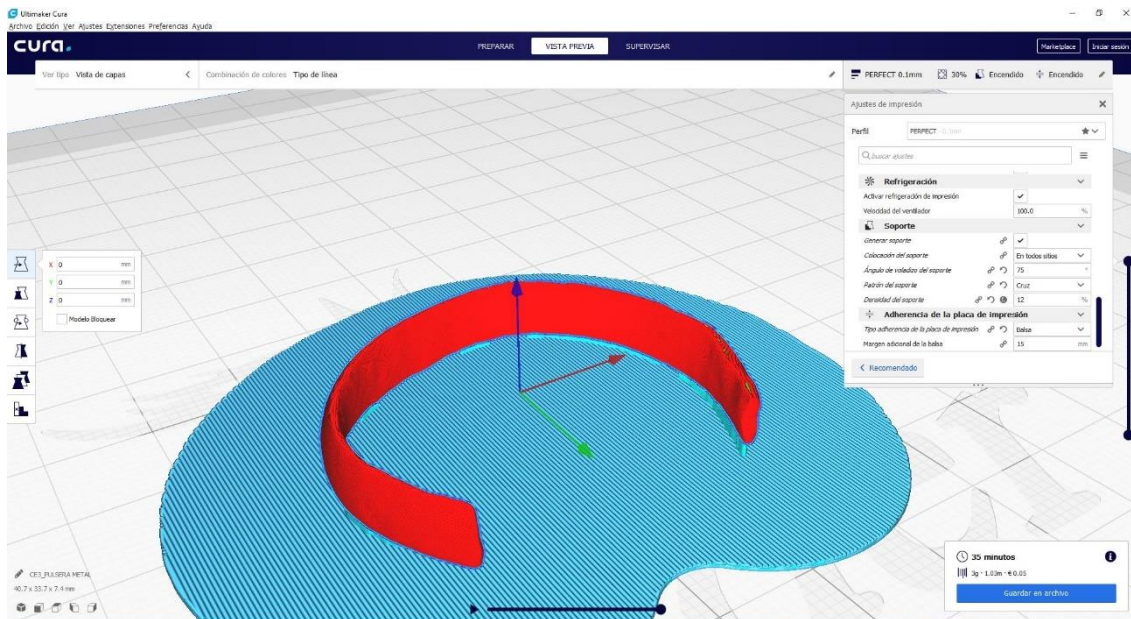


Figura 4.224. Modelo de la pieza N° 79 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del software Ultimaker Cura.

- PIEZA 80 (M58193)

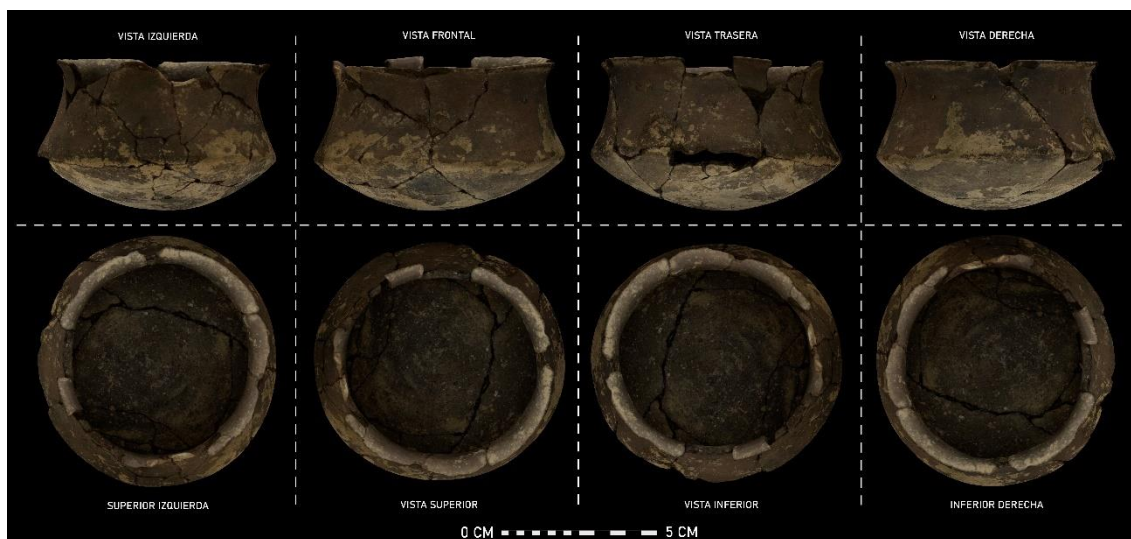


Figura 4.225. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 80 (M58193). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6KPJO> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 80 corresponde a un vaso carenado argárico localizado en una de las sepulturas del yacimiento del Cerro de la Encina (Monachil, Granada). Presenta una tonalidad marrón oscura con algunas manchas más claras.



Figura 4.226. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético (derecha), junto al modelo fotogramétrico original de la pieza N° 80 (izquierda). Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.

Aunque conserva la forma, el recipiente cerámico se encuentra profundamente fragmentado (fig. 4.225). Por este motivo, se decidió aplicar una reconstrucción de tipo virtual con el objetivo de reponer las partes perdidas (fig. 4.226).

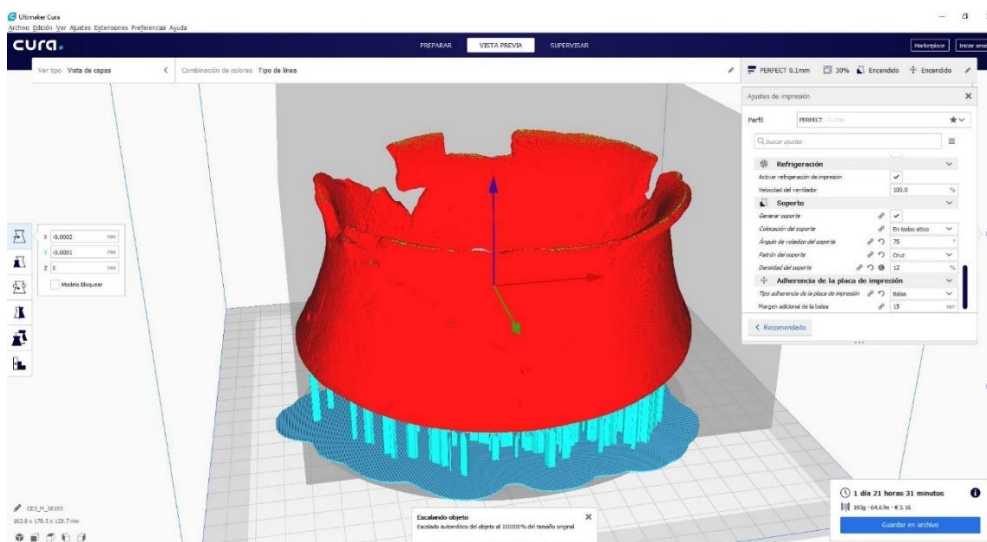


Figura 4.227. Modelo de la pieza N° 80 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

El último paso consistió en la preparación del modelo para su posterior impresión (fig. 4.227). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

- PIEZA 81 (S/N1)



Figura 4.228. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 81 (S/N1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6P7KS> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 81 es otra pesa telar hecha en cerámica localizada en el Cerro de la Encina (Monachil, Granada). Presenta una tonalidad gris oscura. En este caso su cronología se remonta al Bronce Pleno. Dado que no fue posible localizar su nomenclatura de registro original, se le asignó la denominación de S/N1 (fig. 4.228).

Su estado de conservación era, no obstante, excelente. Por este motivo, se decidió prescindir de la reconstrucción virtual.

El último paso consistió en la preparación del modelo para su posterior impresión (fig. 4.229). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

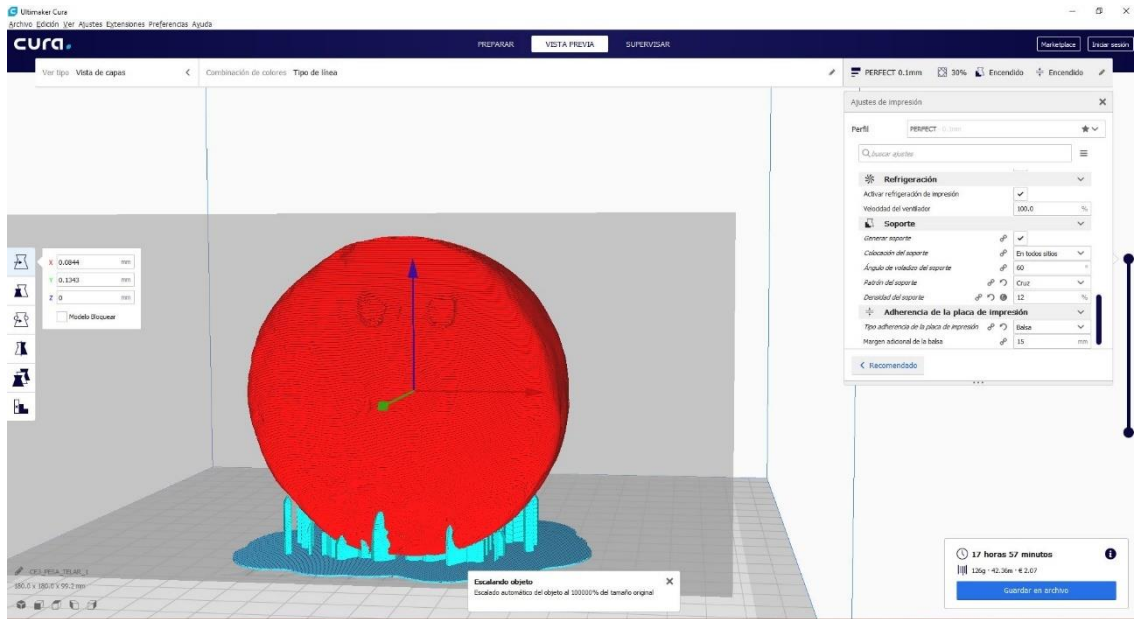


Figura 4.229. Modelo de la pieza N° 81 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 82 (S/N2)



Figura 4.230. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 82 (S/N2). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6H6qE> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 82 corresponde a una copa argárica del Bronce Pleno, localizada en una de las tumbas del yacimiento del Cerro de la Encina (Monachil, Granada). Presenta una tonalidad negruzca y una superficie pulida típica de este tipo de recipientes de la cultura del Argar. La copa se encuentra en un fuerte estado de fragmentación. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N2 (fig. 4.230).

En este caso, el modelo fue segmentado y preparado para su posterior impresión (fig. 4.231). El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

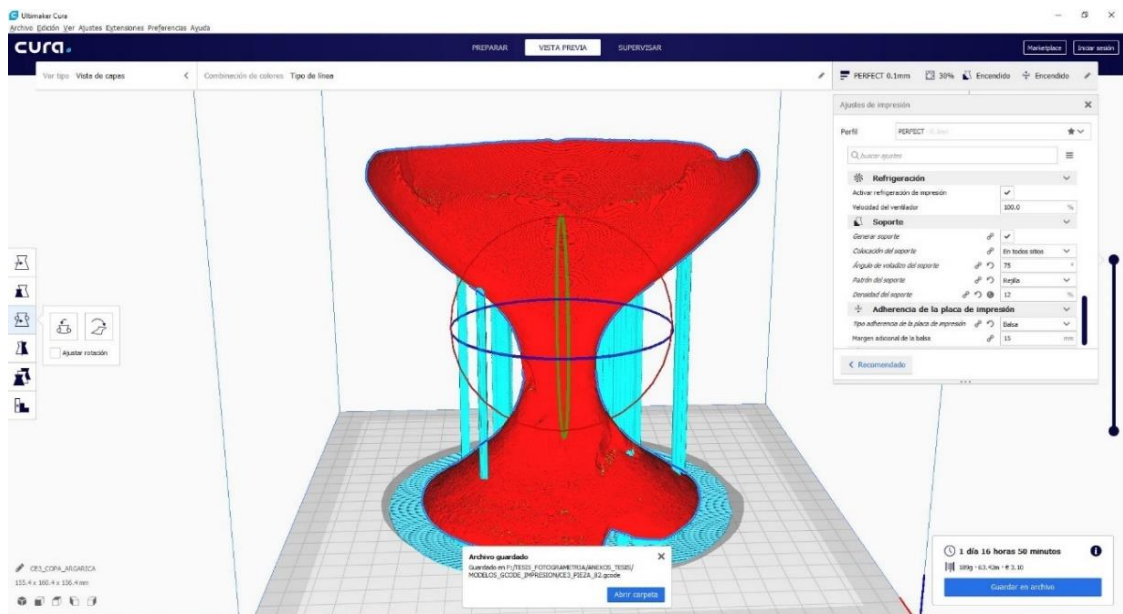


Figura 4.231. Modelo de la pieza N° 82 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 83 (S/N3)

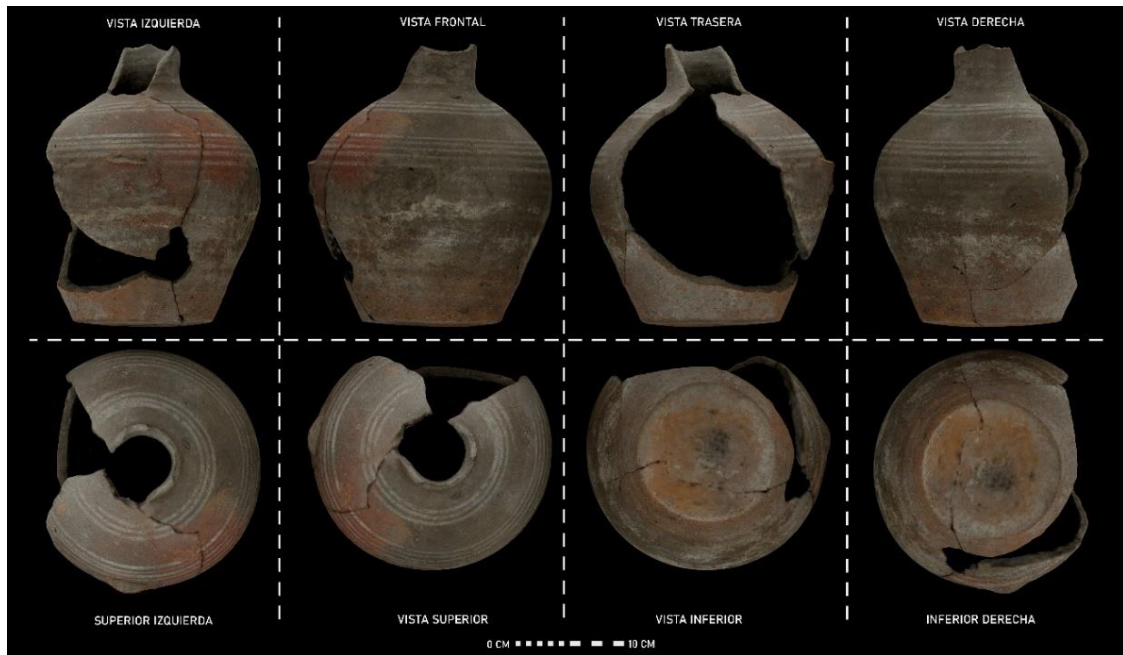


Figura 4.232. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 83 (S/N3). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6H67o> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 83 corresponde a una botija cerámica medieval. La pieza, localizada durante una prospección, está bastante fragmentada, aunque aún conserva su tonalidad grisácea y una decoración en bandas blancas y rojas (fig. 4.232). No se conoce su procedencia exacta, pues se perdieron sus datos de inventario. Del mismo modo, al no tener número de registro original se le asignó la denominación S/N3.

El modelo fotogramétrico fue segmentado y preparado para su posterior impresión (fig. 4.233). El archivo resultante, en formato .gcode, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

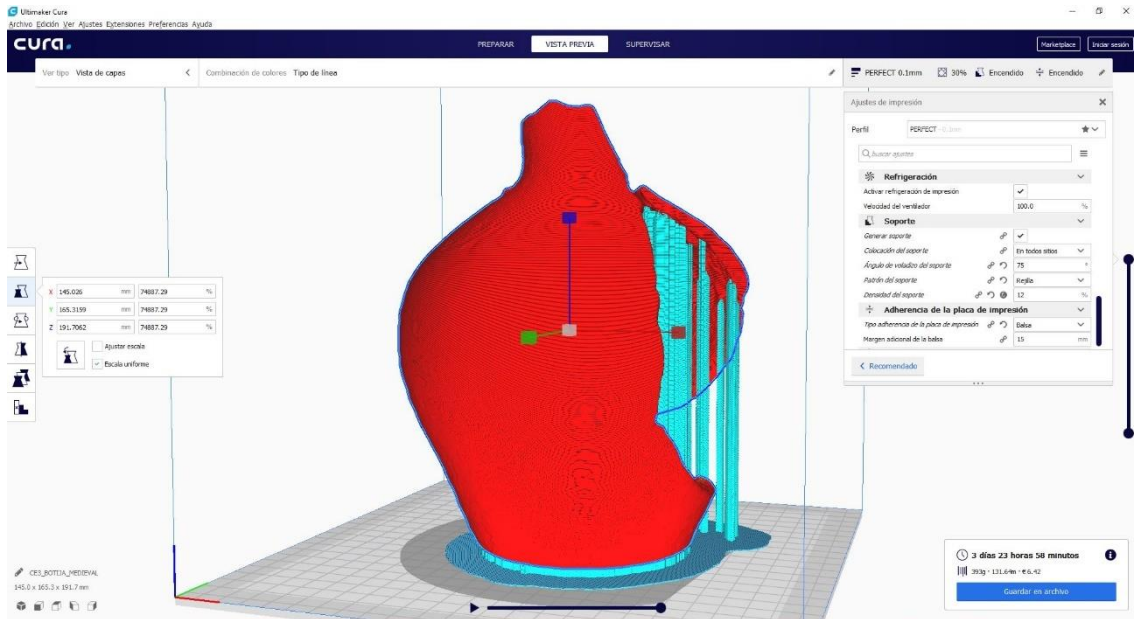


Figura 4.233. Modelo de la pieza N° 83 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 84 (S/N4)

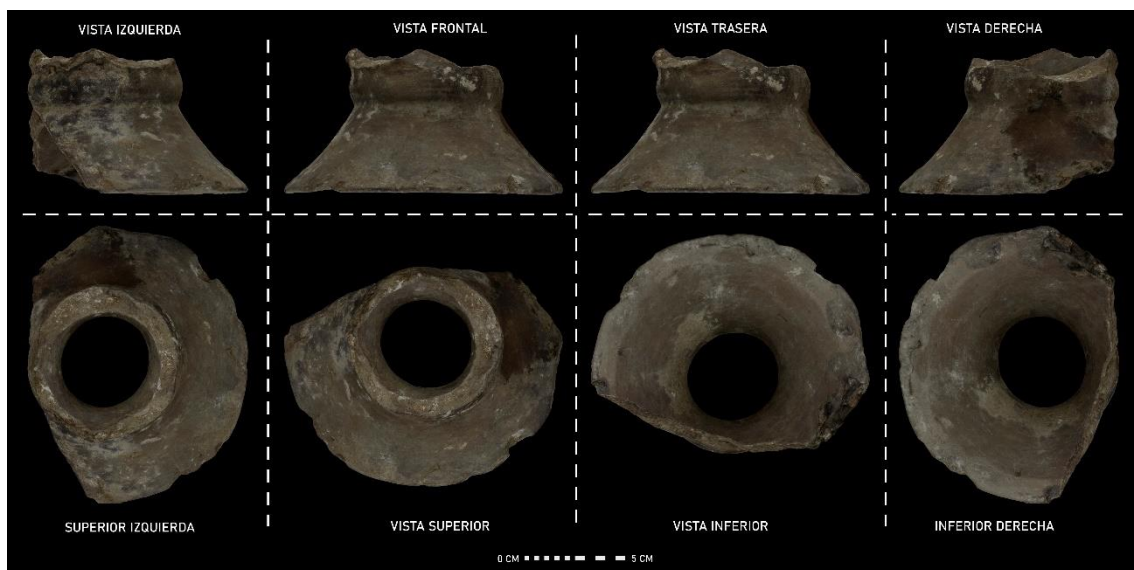


Figura 4.234. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 84 (S/N4). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6H67o> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 84 se corresponde con un soporte cerámico de carrete con baquetón central del Bronce Final Pleno localizado en un contexto doméstico del yacimiento del Cerro de la Encina (Monachil, Granada). La pieza presenta una tonalidad gris oscura y se

encuentra parcialmente fragmentada. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N4 (fig. 4.234).



Figura 4.235. Hipótesis reconstructiva con prótesis digital semimimética llevada a cabo en Blender sobre la pieza Nº 84. En este caso, se ha intentado diferenciar claramente la parte real de la reconstruida.

En este caso, se decidió llevar a cabo una reconstrucción parcial y virtual de la pieza diferenciando, en este caso, la parte real de la reconstruida, pero dando una idea de la disposición original del objeto completo (fig. 4.235).

El último paso de este flujo de trabajo consistió en la preparación o segmentación del modelo para su posterior impresión (fig. 4.236). El archivo .gcode resultante puede descargarse de forma totalmente gratuita.

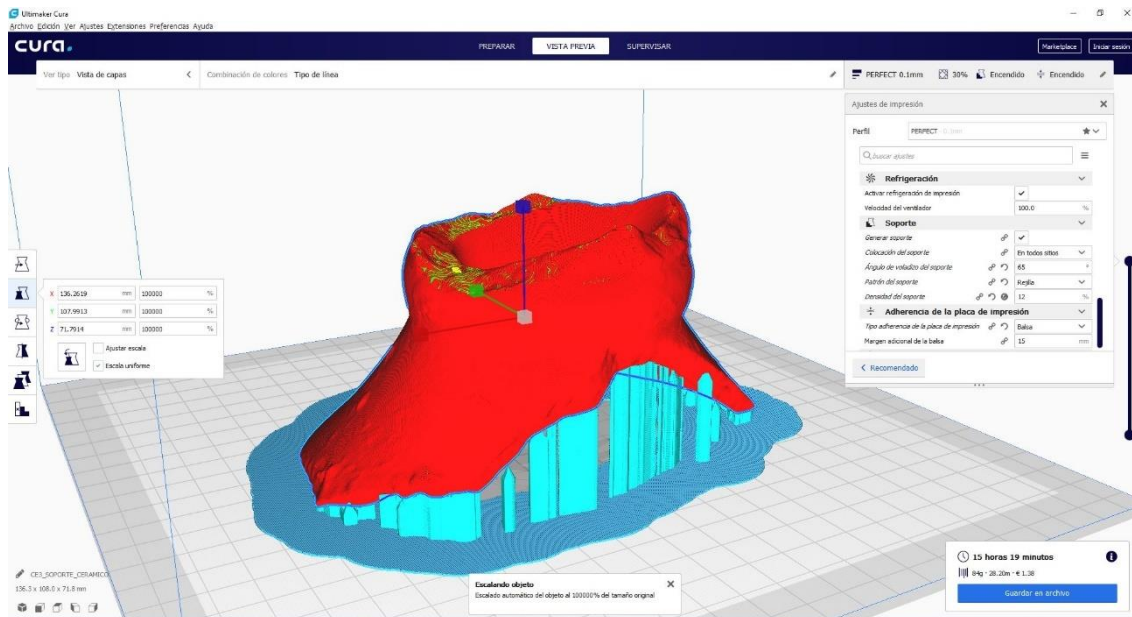


Figura 4.236. Modelo de la pieza N° 84 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 85 (S/N5)

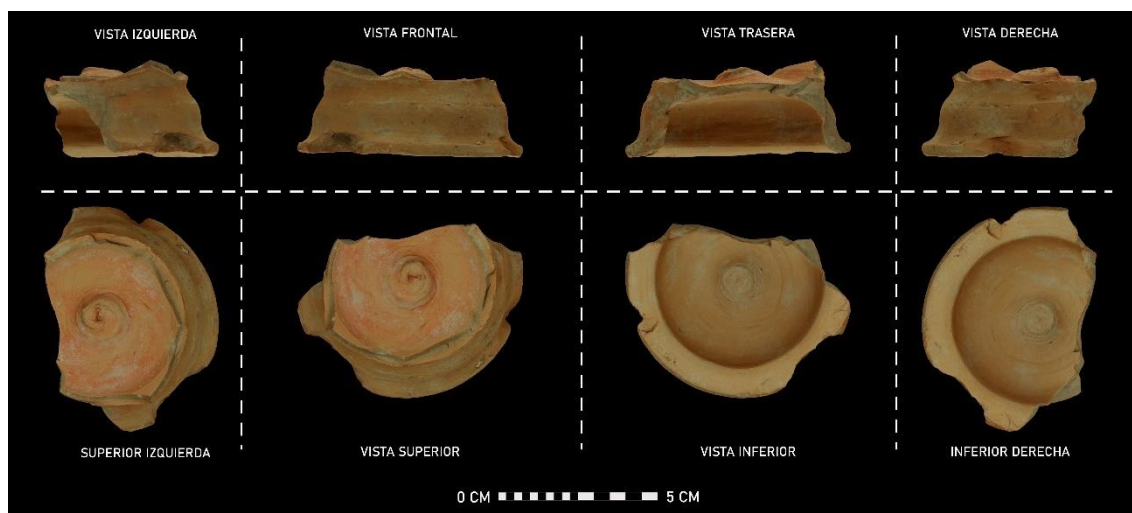


Figura 4.237. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 85 (S/N5). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6HBpH> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 85 corresponden al fragmento del pie de una crátera de columnas de imitación ibérica procedente de la zona de baza, en el altiplano granadino. Presenta una tonalidad beige amarillenta y su estado de conservación, dado el pequeño porcentaje

de pieza que aún se conserva, es realmente deficiente (fig. 4.237). Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N5.

Debido a su estado fragmentario, se decidió aplicar sobre ella procedimientos de reconstrucción virtual conducentes a la configuración de una hipótesis sobre su posible estructura. En este caso, y como ya se presentaba en el capítulo anterior (fig. 3.34), se empleó un sistema de restauración con prótesis digital no mimética que diferenciase claramente la parte real de la parte reconstruida.

El último paso consistió en la preparación del modelo para su posterior impresión (fig. 4.238. El archivo .gcode, ya preparado, puede descargarse de forma totalmente gratuita.

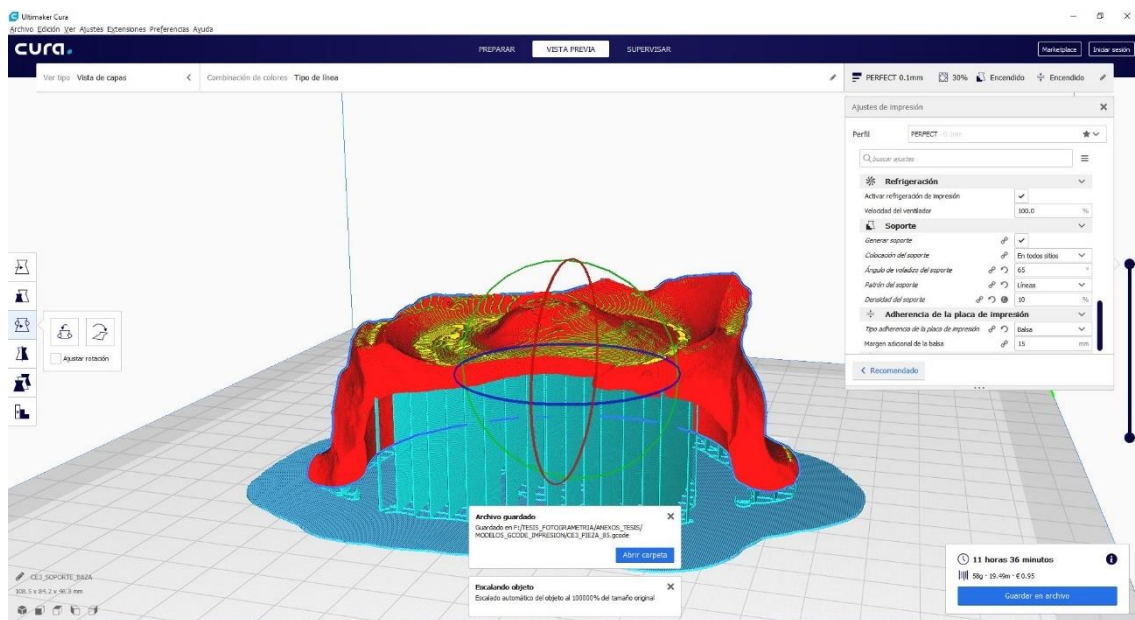


Figura 4.238. Modelo de la pieza N° 85 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 86 (S/N6)

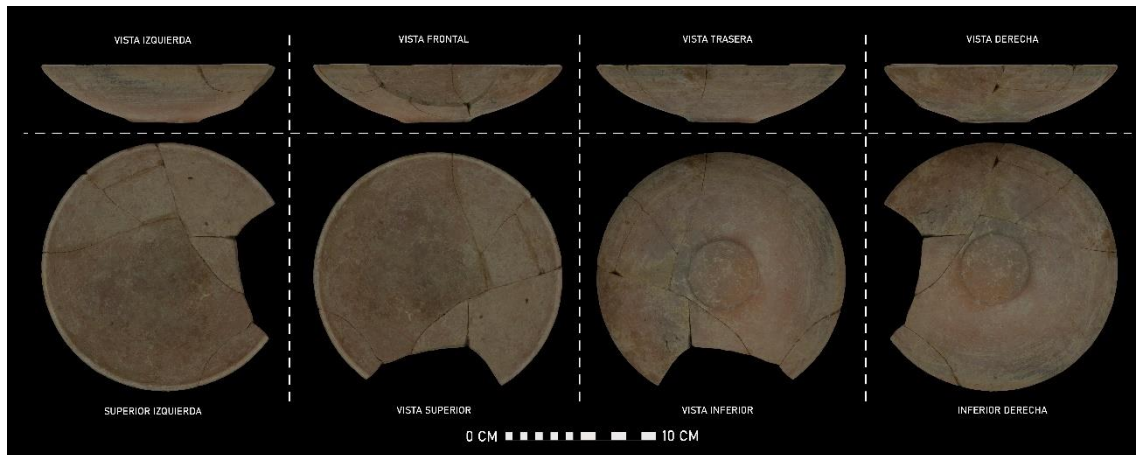


Figura 4.239. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 86 (S/N6). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6JDPP> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 86 corresponde a un plato cerámico del Hierro Antiguo con fondo plano y borde ligeramente engrosado al interior. El objeto fue localizado durante las intervenciones arqueológicas llevadas a cabo en 1987 en el Cerro de la Mora (Moraleda de Zafayona, Granada). Presenta una tonalidad beige oscura y, sobre él, se llevó a cabo un proceso de anastilosis física (fig. 4.239). Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N6.



Figura 4.240. Reconstrucción digital integral con acabado mimético y recreación de la pieza N° 86. Ambas fueron llevadas a cabo en Blender.

Dado que le faltaba una parte considerable de la pared, se estimó oportuno aplicar un procedimiento de reconstrucción virtual mediante el cual esclarecer la disposición original del objeto (fig. 4.240).

El último paso consistió en la preparación del modelo, no reconstruido en este caso, para su posterior impresión (fig. 4.241). El archivo .gcode puede descargarse de forma totalmente gratuita.

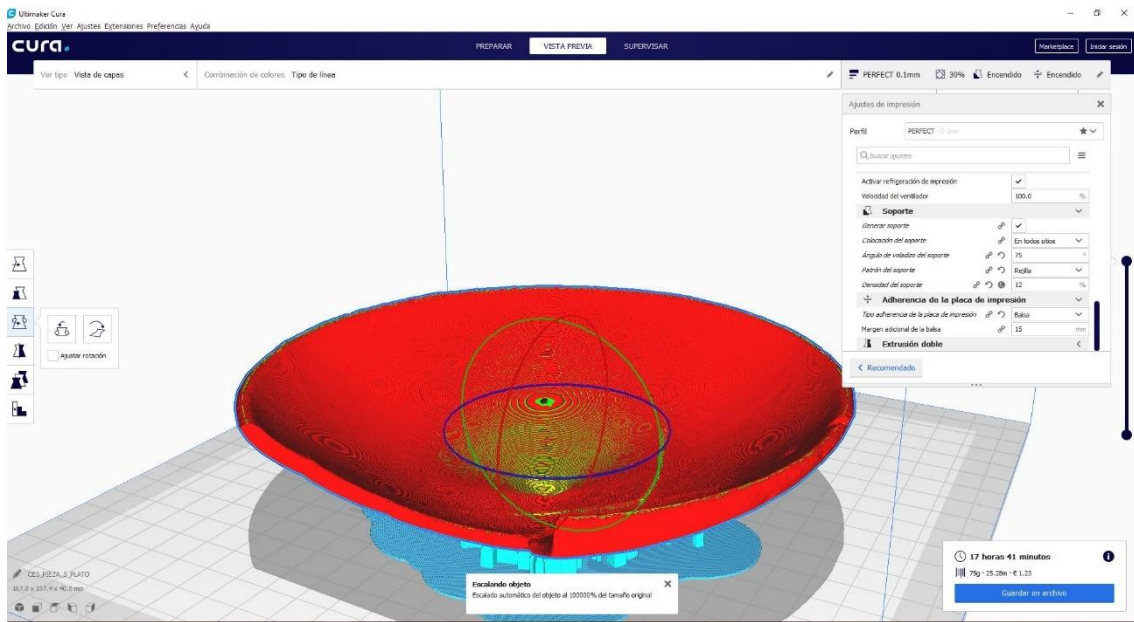


Figura 4.241. Modelo de la pieza N° 86 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 87 (S/N7)

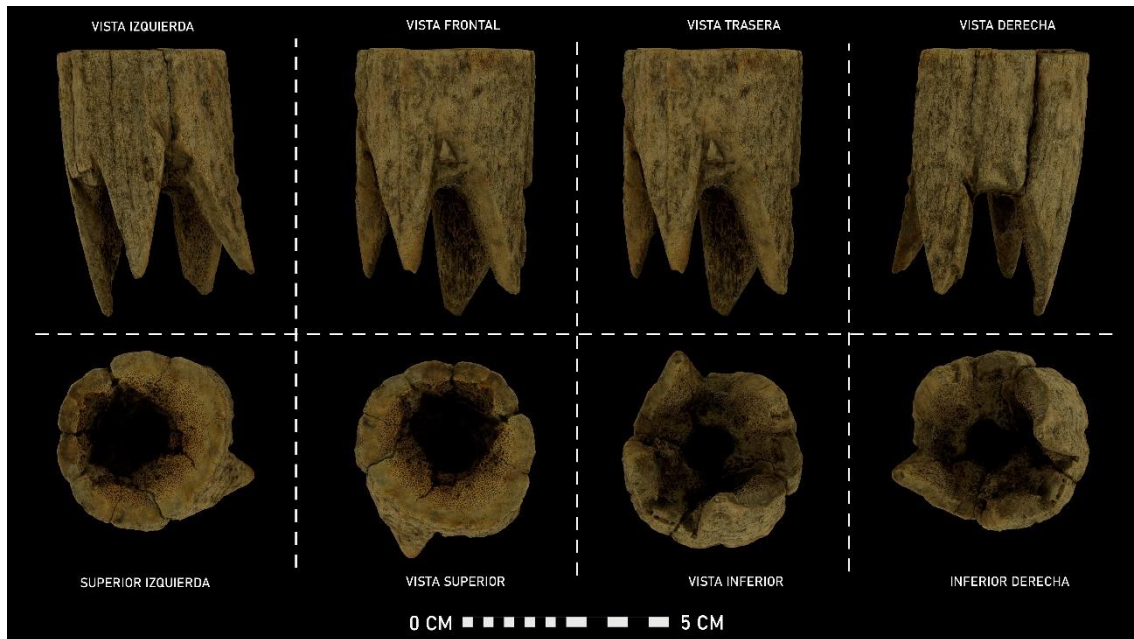


Figura 4.242. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 87 (S/N7). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXPx> [última visita: 29/11/19].

La pieza N° 87 corresponde a la tricotera de hueso para producción textil localizada en el nivel 7, corte 23 del yacimiento del Cerro de los Infantes en Pinos Puente, Granada (Dorado Alejos, 2019: 348, fig. 7.117). Este objeto, empleado para la producción textil y datado en el período del Hierro Antiguo Orientalizante, presenta una tonalidad marrón amarillenta y su estado de conservación es excelente (fig. 4.242). Al no estar siglado se le asignó la denominación S/N7 para facilitar su registro a lo largo de la tesis.

El último paso consistió, en este caso, en la preparación del modelo de la pieza N° 87 para su posterior impresión (fig. 4.243). El archivo .gcode puede descargarse de forma totalmente gratuita.

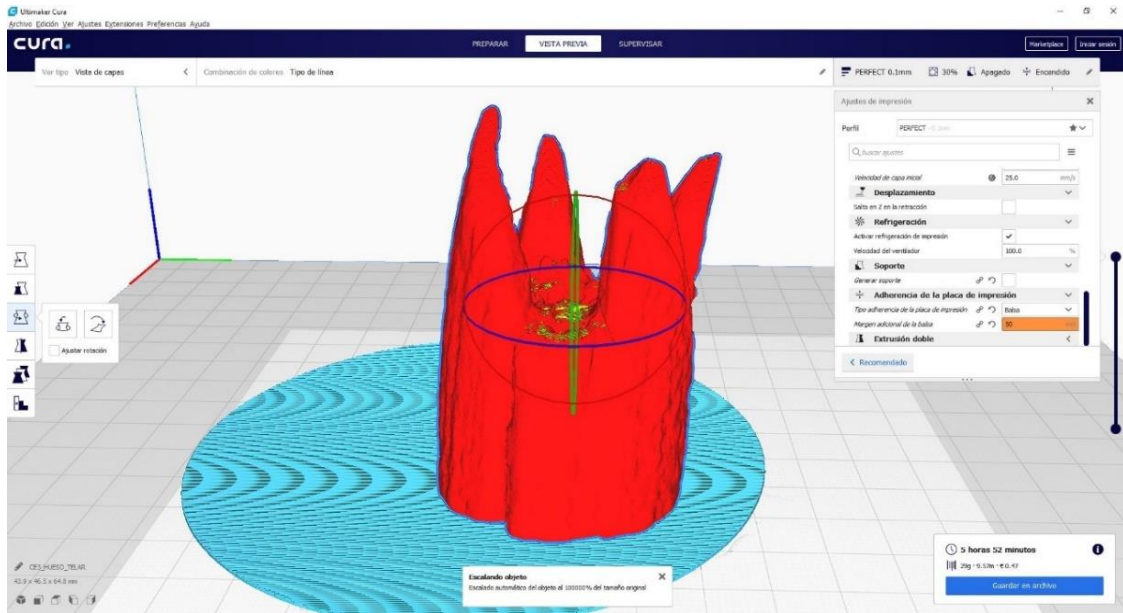


Figura 4.243. Modelo de la pieza N° 87 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 88 (S/N8)

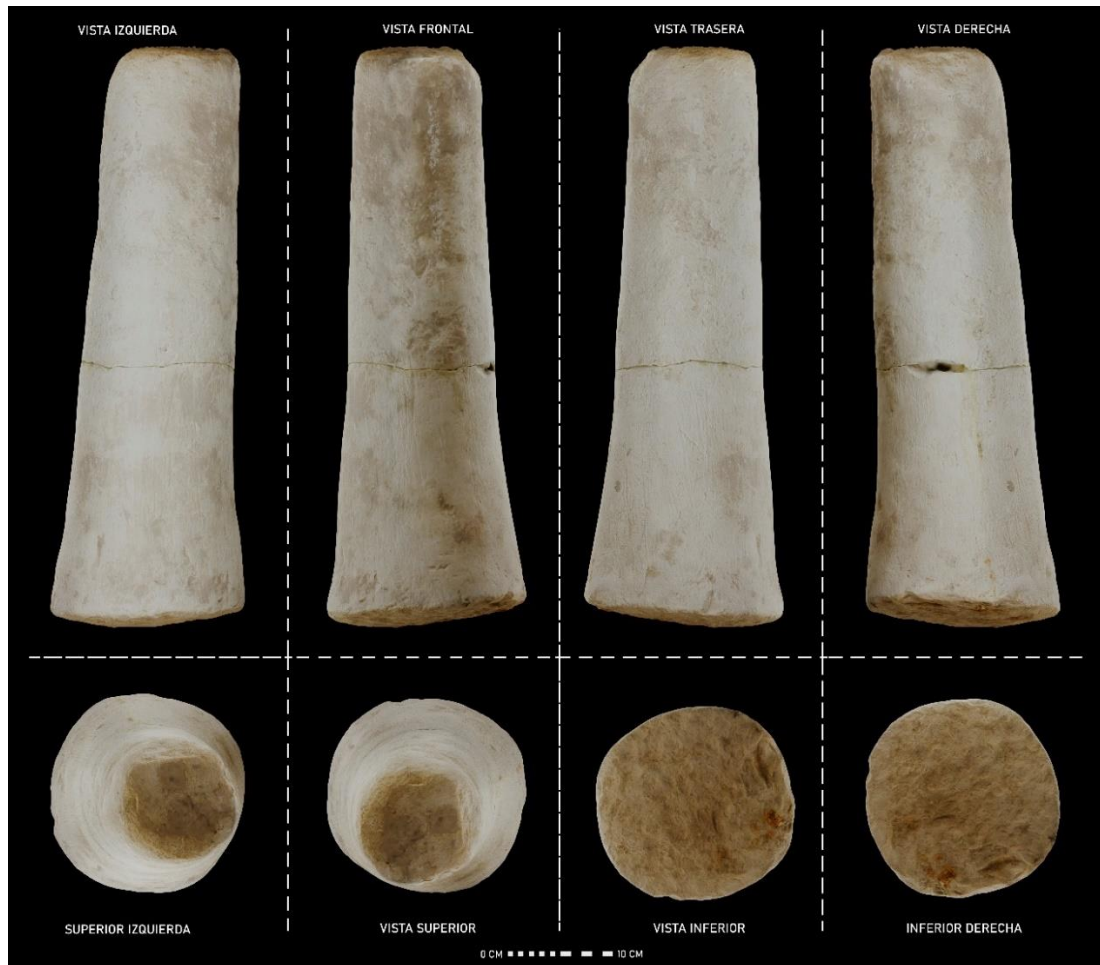


Figura 4.244. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N 88 (S/N8). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXPP> [última visita: 29/11/19].

La pieza N^o 88 corresponde a un ídolo tallado en piedra y localizado en una de las sepulturas del yacimiento calcolítico de Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería) (fig. 4.244). Presenta una tonalidad beige blanquecina y, tras haber sido sometido a distintos análisis de índole digital (Dstretch o la generación de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM)) parece poco probable que su superficie hubiese estado cubierta de algún tipo de decoración, incisa o pintada. Al no tener número de registro original, se le asignó la denominación S/N8.

El último paso consistió en la preparación del modelo de este ídolo de Millares para su posterior impresión 3D (fig. 4.245). En este caso, y dadas las dimensiones del objeto,

este hubo de ser fragmentado digitalmente en varias piezas ensamblables que encajan perfectamente gracias a un sistema de anclajes positivos y negativos. Cada parte compone un archivo .gcode independiente que puede descargarse de forma totalmente gratuita.

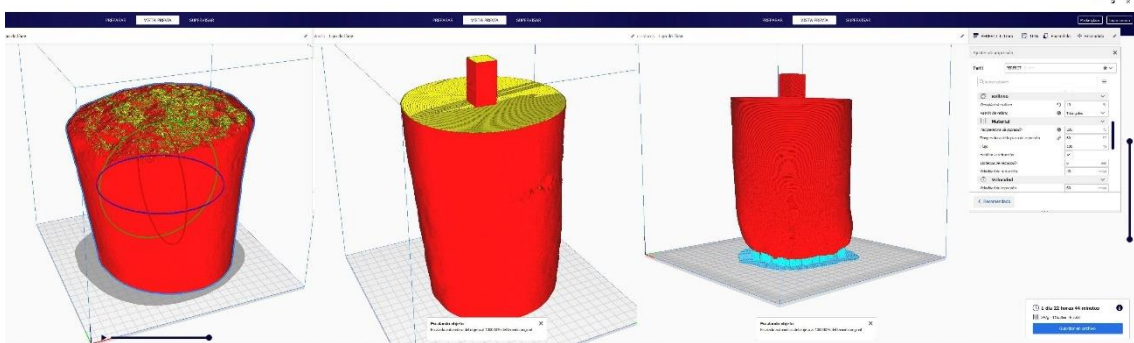


Figura 4.245. Modelo de la pieza N° 88 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

- PIEZA 89 (S/N9)

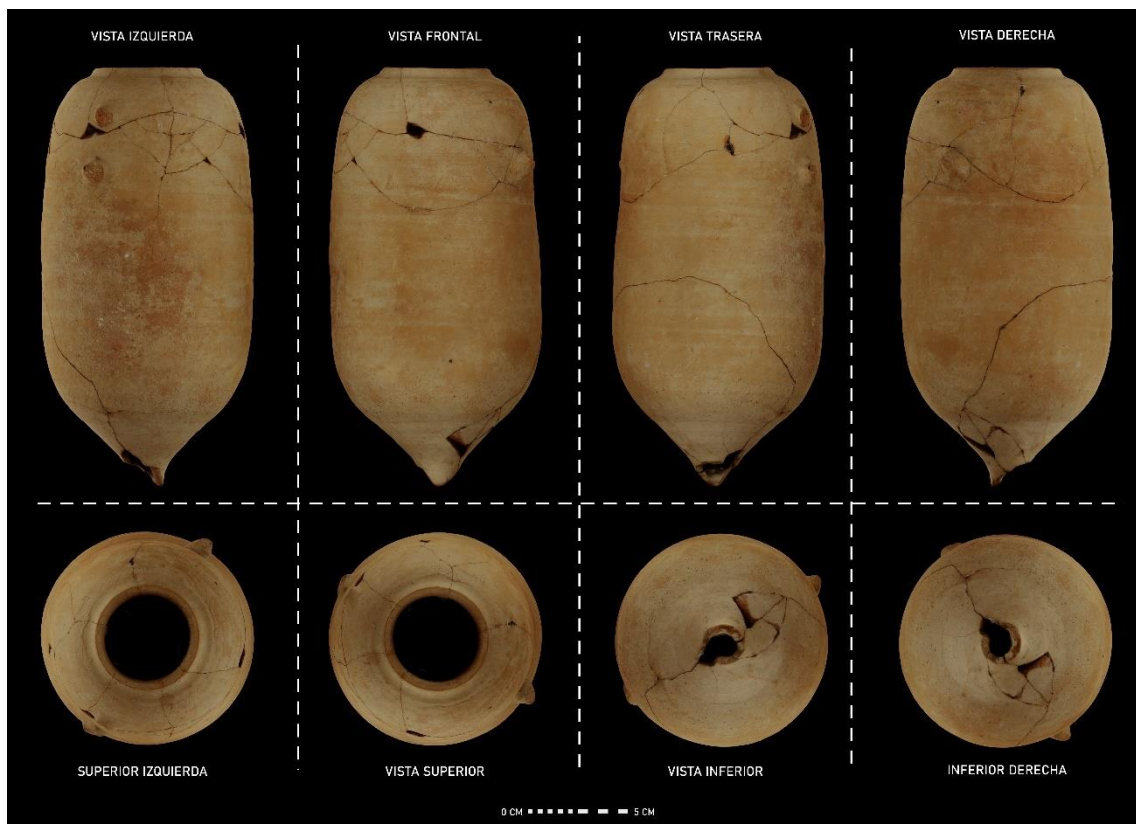


Figura 4.246. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N ° 89 (S/N9). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://skfb.ly/6OXOD> [última visita: 29/11/19].

La pieza Nº 89 corresponde a un anforisco de cerámica y cuya procedencia nos es desconocida. El objeto, datado en el período del Hierro Pleno, presenta una tonalidad rojiza clara. Dado su estado fragmentario este fue sometido a un proceso de anastilosis manual, encajando las partes mediante algún tipo de pegamento (fig. 4.246). No obstante, este hecho dificultó en cierta medida la captura fotogramétrica posterior. Como ocurría en los casos anterior, al no tener número de registro original se le asignó la denominación S/N9.

El último paso consistió, en este caso, en la preparación del modelo de la pieza Nº 89 para su posterior impresión (fig. 4.247). El archivo .gcode puede descargarse de forma totalmente gratuita.

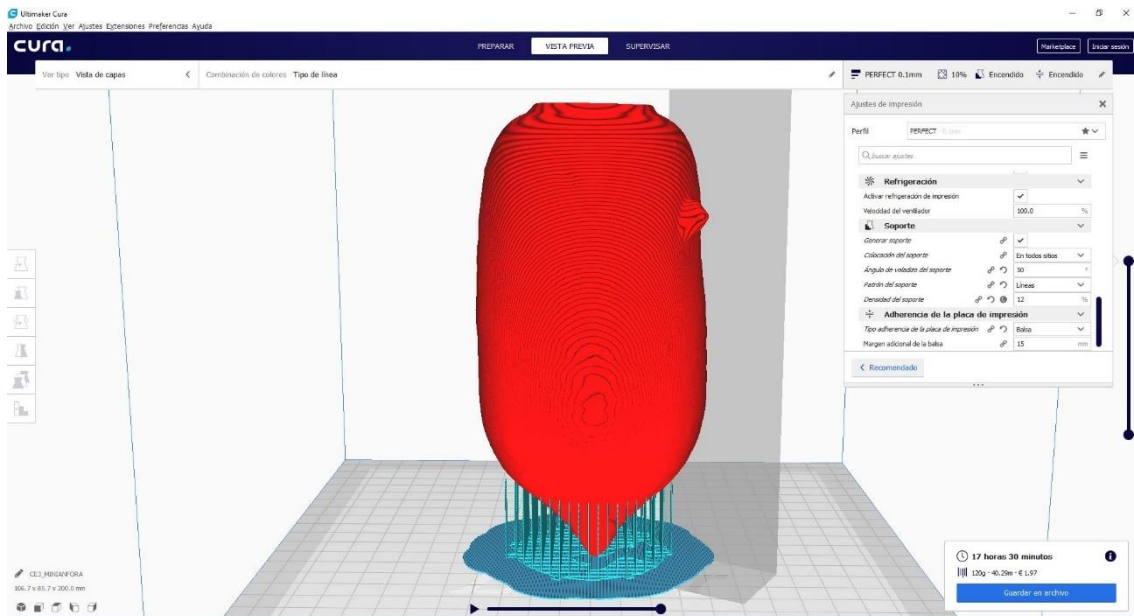


Figura 4.247. Modelo de la pieza Nº 87 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del *software* Ultimaker Cura.

Tras la experimentación llevada a cabo sobre algunas de las piezas que se integran dentro del proyecto Virtual 3D UGR, se puede concluir:

1. En primer lugar, destacar el gran potencial docente de la fotogrametría *SfM*. Un potencial este que discurre a través de dos caminos inevitablemente conectados. Por un lado, los beneficios directos que derivan de la aplicación de esta técnica. Entre ellos se encuentran aquellos recursos virtuales que aporta *per se* esta técnica de digitalización:

modelos 3D, infografías, reconstrucciones, etc. Por otro lado, su integración dentro de las propias aulas como una formación práctica y ampliamente demandada por el alumnado de los diferentes niveles educativos.

2. Tal y como ocurría con la colección procedente del Museo Instituto de América de Santa Fe – Centro Damián Bayón (Granada), la difusión de las piezas es una parte importantísima del extenso flujo de trabajo fotogramétrico. A este respecto, la eficacia y la repercusión de Sketchfab como plataforma de difusión patrimonial es una realidad innegable. Este repositorio online gratuito permite gestionar colecciones amplias de formas intuitiva, rápida y sencilla. A ello se ha de sumar su generalización dentro del ámbito de la Arqueología, lo que la convierte en un trampolín prácticamente inevitable para la divulgación y difusión de resultados de carácter tridimensional.

3. Desde su reciente creación el 31 de enero de 2019, el perfil de Sketchfab del proyecto Virtual 3D UGR acumula más de 1000 visualizaciones y un *feedback* bastante positivo. En un primer momento, los números pueden parecer pequeños, sobre todo en comparación con las cifras a las que estamos acostumbrados en las redes sociales como Facebook. No obstante, en el caso concreto de Sketchfab, y dentro de una temática tan específica como es la Arqueología o la digitalización del patrimonio, estas cantidades resultan sobresalientes. Para establecer un modelo comparativo mucho más claro se creó una tabla (fig. 4.198) donde se comparaban estas cifras con los datos obtenidos de perfiles de algunas de las instituciones museísticas más importantes, tanto a nivel nacional como internacional. Es el caso del Museo Arqueológico Nacional, cuya cuenta en este repositorio online lleva funcionando desde 2015 y no acumula más de 30000 visualizaciones y 299 likes. Otro ejemplo de esta dinámica, en este caso fuera de nuestro país, es el Museo de Arqueología Subacuática del INAH, cuyo perfil se crea en 2016 y cuenta, a día de hoy, con apenas 536 visualizaciones. Los números hablan por sí solos y, con solo unos meses de funcionamiento real, el proyecto medialab Virtual 3D UGR supone un éxito divulgativo más que reseñable.

4. El Proyecto “Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)” se convierte en la punta de lanza de

una línea de trabajo que se seguirá potenciando y ampliando en los próximos años. Esto será posible gracias a la confluencia con algunas iniciativas adicionales de estas mismas características y que se vienen desarrollando los últimos años en el seno del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada. Por un lado, el proyecto de innovación docente “Plutón”, dirigido por el profesor Luis Arboledas Martínez y destinado a la digitalización de una amplia selección de minerales y rocas. Por otro lado, el proyecto medialab “CarqTUJA•3D”, dirigido por la profesora Elena Henriette Sánchez López y enfocado al modelado y reconstrucción 3D de los hornos del Alfar Romano de Cartuja. Ambas iniciativas, en las cuales tenemos la oportunidad de participar, terminarán complementando la creación de un material digital de gran calidad, perfectamente accesible y de un alto valor tanto didáctico como docente. Un paso más, en definitiva, hacia una necesaria integración y generalización del uso de estas nuevas herramientas en una disciplina como la Arqueología.

4.10 Auge y Futuro de la Fotogrametría. Hacia una arqueología a Distancia, Pública y más Social

Dada la continua y vertiginosa evolución a la que se ve sometida nuestra sociedad, la tangibilidad en la investigación es una premisa cada vez más obvia. En consecuencia, la generalización de la vía telemática como nuevo mecanismo de interacción con el medio físico es un hecho que, día a día, adquiere mayor consistencia.

El nuevo arqueólogo no se ve ya en la necesidad de llevar a cabo costosas salidas de campo. De hecho, son cada vez más los datos que pueden obtenerse y analizarse de forma remota, sin la necesidad de que el investigador interactúe de forma directa con el medio, o lo haga de forma mínima. Las nuevas formas de teledetección, los VAT, drones subacuáticos y otros dispositivos que pueden ser controlados a distancia suponen una revolución imparable en nuestra disciplina. A pesar de que su uso se encontraba bastante restringido en términos de autonomía y, sobre todo, coste, esta realidad cambia a pasos agigantados. Aquellas herramientas que hasta hace relativamente poco tiempo eran prácticamente prohibitivas, como es el caso de los

drones, las herramientas de digitalización, o las nuevas técnicas de impresión 3D, son ahora dinámicas tan habituales en Arqueología que, prácticamente, se han convertido en una necesidad, más que en una opción.

A todo ello se ha de sumar la presencia de una sociedad cada vez más conectada y dependiente de nuevas vías de interacción. Gracias a una red de internet cada vez más sólida, rápida y accesible, la investigación se ha visto profundamente beneficiada. Obviamente, no todo son ventajas en esta nueva deriva social, y el uso abusivo acarrea problemáticas igualmente novedosas que habría que rechazar. Sin embargo, a día de hoy, son muchos los recursos a los que puede accederse con un simple click, de forma gratuita, sencilla y sin ninguna necesidad de presencialidad. Esto propicia que cada vez sean más las arqueólogas y arqueólogos que pueden investigar materiales ubicados a miles de kilómetros de distancia gracias a la creación de modelos tridimensionales de gran precisión geométrica y potencialmente analizables. Estos nuevos materiales se comparten de forma abierta y personal a través de internet, o bien, canalizados por instituciones académicas y profesionales de todo el mundo, quienes los intercambian con cada vez menos reticencias.

En definitiva, somos testigos de la consolidación de una nueva forma de entender la Arqueología como disciplina humanística. Lo queramos o no, el futuro de la Arqueología, como el de una gran mayoría de profesiones más, es el trabajo no presencial. Se configura así una nueva dinámica que querríamos denominar como Arqueología a Distancia. El juego sigue siendo el mismo, pero las reglas se han visto modificadas. La búsqueda de una mayor automatización o de resultados cada vez más precisos y rápidos, lleva inexorablemente a potenciar nuevas vías no presenciales de trabajo. Contradictoriamente, los problemas de conservación física del patrimonio que derivan de una sociedad en continuo crecimiento, con nuevas problemáticas de uso y sin estrategias de sostenibilidad realmente efectivas, no tienen una solución definitiva, pero han de pasar por la desmaterialización digital del medio tangible y todo el trabajo desarrollado a su alrededor.

Todo ello implica la necesidad de que el nuevo arqueólogo, eminentemente virtual, adquiera la formación necesaria para mantener la esencia y la labor de una disciplina, más allá incluso de la evolución tecnológica en la que esta se ve inmersa. Y es ahí, precisamente ahí, donde reside nuestra función. A diferencia del técnico informático, el humanista digital no solo entiende, sino que comprende y empatiza con la realidad que estudia.

La presente tesis se enmarca, precisamente, en esta nueva realidad. Intentando, para ello, aportar una nueva vía o alternativa metodológica que habría de consolidarse en la Universidad de Granada. Motivar la formación de especialistas y naturalizar técnicas y métodos que serán el futuro de nuestra profesión. La redacción de este trabajo trata, por tanto, de aportar los pilares necesarios sobre los que podrán erigirse futuros trabajos de investigación, propios y ajenos.

4.11 Presentación página Web. Una Página para para gestionarlos a todos. Un Página para encontrarlos, un Página para atraerlos a todos y atarlos a la fotogrametría

Esta última parte del cuarto capítulo, así como el propósito final de la presente tesis, supone la elaboración de una página web capaz de albergar todas las piezas digitalizadas, los análisis realizados sobre ellas, así como toda la información relativa a estos procesos.

Por otro lado, la intención es crear un directorio web que simplifique el acceso a dicha información y garantice una transferencia del conocimiento coherente y gratuita.

5 CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1 Presentación del apartado

En este último apartado se ponen en relación los datos obtenidos durante la aplicación de los flujos metodológicos descritos en el capítulo III y puestos en práctica en los casos de estudio seleccionados para el Capítulo IV. Se discutirá, por tanto, la viabilidad de aplicar la fotogrametría *Structure from Motion* al patrimonio de pequeño y mediano tamaño dentro del ámbito específico de la disciplina arqueológica, así como el margen de mejora y las futuras líneas de actuación que se abren en torno a esta herramienta de digitalización y documentación.

5.2 Discusión de los resultados

¿Son los modelos tridimensionales copias exactas, precisas, analizables y viables de sus originales físicos?

Con esta premisa nos adentramos en uno de los debates más importantes que rodean a la técnica fotogramétrica, así como a otras muchas técnicas relacionadas con la digitalización del patrimonio. Desde el surgimiento del término de “*Virtual Archaeology*”, acuñado originalmente por Paul Reilly (1991: 132-139), el halo de trivialidad que ha envuelto siempre el trabajo de los autodenominados como arqueólogos virtuales y a otros muchos humanistas digitales, ha sido un pesado lastre difícil de eliminar. A día de hoy, la delgada línea que separa al diseñador gráfico del arqueólogo especializado en la gestión digital del patrimonio sigue imprimiendo una clara nota de acientifismo a un trabajo de innegable valor social y cultural.

En un intento por responder a esta cuestión, y uniendo nuestra postura al ya tradicional debate, a lo largo de los capítulos previos se han abordado las posibilidades de aplicar una técnica de digitalización como es la fotogrametría *Structure from Motion* sobre objetos de naturaleza arqueológica y/o patrimonial de pequeño y mediano tamaño. Del uso cabal y el abuso mal articulado de la fotogrametría y las metodologías que de ella

derivan se deducen toda una serie de beneficios y hándicaps que no se han de pasar por alto y que, de hecho, resulta conveniente analizar.

Como ya suscribieran otros autores previamente (Baltsavias, 1999; Benavides, 2017; Fassi y Fregonese, 2013; Grussenmeyer y Ringle, 2008), la viabilidad de una técnica como la fotogrametría es, a día de hoy, una realidad tan esperable como innegable. En este contexto, el desarrollo de flujos de trabajo específicos y adaptados a circunstancias y objetos concretos, debe ocupar la total atención de los especialistas y vías de investigación que actualmente se enfocan en el uso de esta herramienta de digitalización.

Con la redacción de la presente tesis, se ha trazado una línea de trabajo particular que intenta adaptarse al caso específico de cada una de las 89 piezas seleccionadas, intentando trazar líneas de actuación más universales. A este respecto, el uso de un amplio abanico de *softwares* informáticos con funcionalidades tan diversas como afines pone en evidencia el alto grado de complementariedad que existe en el ámbito de la Arqueología Virtual y, al mismo tiempo, la idoneidad de estos modelos fotogramétricos. En su artículo *Virtual Representation: The Production of 3D Digital Artifacts* Kevin Garstki (2017: 741) afirma que “*reproductions (physical or digital) cannot act as complete stand-forms of the original*”. En efecto, si bien el bagaje cultural, temporal y de uso de un objeto original, físico, hará imposible que este sea emulado de forma completa, la réplica digital generada a partir de él pasa a conformar una parte más de su propia esencia. Como si de un fenómeno postdeposicional se tratase, la fotogrametría se convierte en parte de la historia misma de ese elemento patrimonial, sobreviviéndole en muchos casos. Un modelo tridimensional no podrá nunca reemplazar al original, pero, bien realizado, se convierte en un instrumento tremendamente útil para el estudio, la conservación y la difusión de este.

Actualmente, los modelos fotogramétricos son la punta del iceberg, la materia prima a través de la cual es posible articular otros procedimientos más específicos. La fotogrametría se está imbricando tan profundamente en las raíces de la disciplina

arqueológica que cuestionar su uso está dejando de ser una línea de discusión científica razonable para convertirse en una forma censurable de negacionismo.

Siguiendo a Antonio Benavides López (2017: 475) en su tesis doctoral: “*vivimos una época de constantes cambios tecnológicos*” que nos obliga a una constante reinención de nosotros mismos. La Arqueología Virtual se convierte en el mejor ejemplo de ello. Esta disciplina ha dilatado tan ampliamente sus límites de actuación y conocimiento que, incluso el más experto en la materia, se ve incapaz de conocer y, sobre todo, dominar todo el instrumental y metodologías que existen en torno a ella. En este aspecto, el paso fundamental en futuras líneas de investigación y desarrollo tecnológico habría de ser en favor de una mayor homogeneización y estandarización de la forma en que se ha de aplicar la tecnología en el patrimonio cultural.

En este aspecto, y a pesar del largo camino ya recorrido, la democratización de técnicas como la fotogrametría *SfM* es aún una tarea pendiente en la que se ha de insistir. Para ello, es esencial garantizar la accesibilidad tanto de los mecanismos con los que se lleva a cabo, como del propio conocimiento y los resultados que dimanen de su uso.

Siendo conscientes de ello, este trabajo se centra en generar una base metodológica propia y adaptada que, si bien no abordará la complejidad absoluta ontológica y técnica de la fotogrametría, tratará de servir de apoyo a futuras arqueólogas, arqueólogos o humanistas digitales que deseen profundizar en ella.

5.3 Conclusiones

La fotogrametría *SfM* se convierte en una herramienta cada vez más eficiente y rentable que habría de emplearse de forma sistemática en nuestra disciplina y en otros muchos ámbitos de las Humanidades Digitales.

Esta técnica de digitalización pasiva supera con creces, ya no solo a las herramientas y dinámicas de registro tradicional, sino al empleo de técnicas informáticas alternativas como el láser escáner de luz estructurada. En términos generales, su bajo coste, la sencillez de su uso, su versatilidad y los resultados proporcionados compensan con

creces sus posibles desventajas. Esto es un hecho constatado a la hora de registrar de forma precisa la actividad arqueológica de campo, donde la fotogrametría se vuelve cada día más imprescindible. En el caso de las excavaciones su utilización supone no sólo un importante ahorro de tiempo, sino que aporta además una documentación de una calidad y precisión excepcionales. En el caso de aquellas intervenciones arqueológicas de urgencia o actividades aún más fútiles como las prospecciones, donde el tiempo es la variable más importante, su aplicación resulta aún más conveniente. En el caso de las prospecciones, la integración de metodologías de digitalización como esta, permite documentar elementos de gran tamaño que, de otra forma, sería imposible acarrear o registrar de forma correcta.

Si algo caracteriza a la fotogrametría *SfM* es su capacidad de adaptarse a circunstancias, medios y materialidades tan complejas como diversas. En este aspecto, su idoneidad queda reflejada con la variedad de las piezas seleccionadas en el presente trabajo. Por otro lado, en el caso de los bienes patrimoniales de pequeño y mediano tamaño, generar modelos tridimensionales mediante fotogrametría proporcionan una idea mucho más detallada sobre las formas, dimensiones y, en consecuencia, naturaleza de las propias piezas trabajadas. Por todos estos motivos, la fotogrametría se convierte en una herramienta tremendamente útil a la hora de fomentar un turismo de mayor calidad, mejorar la experiencia docente en ambos sentidos y para el análisis y difusión del conocimiento científico.

En cuanto a los *softwares* fotogramétricos disponibles, los programas comerciales como Agisoft Metashape o Reality Capture siguen superando ampliamente a las alternativas *open source*. Por este motivo, actualmente la elaboración de modelos fotogramétricos precisos pasa, de forma inevitable, por el uso de estos programas de pago. De entre ellos, por su versatilidad, estabilidad y la calidad general de sus resultados, el *software* de origen ruso Agisoft Metashape se postula como la opción más factible. No obstante, y a pesar de que existen licencias educativas algo más accesibles, la compra de las licencias de estos programas de pago sigue siendo privativa en muchos casos. Esta se convierte, sin duda, en una línea en la que conviene seguir trabajando en tanto en

cuanto supone un importante menoscabo en esa idea de apertura connatural en las Humanidades Digitales.

A pesar de que la fotogrametría convergente supera ampliamente a otras técnicas de digitalización, su uso también reviste algunas limitaciones que conviene recalcar:

- La gestión y almacenamiento de los archivos fotográficos y de los formatos específicos derivados se convierte en un punto esencial al trabajar con fotogrametría. Un trabajo fotogramétrico lo componen innumerables archivos independientes, pero estrechamente relacionados. La pérdida o extravío de alguno de ellos puede dar al traste con la totalidad del trabajo. En trabajos que conllevan la digitalización de grandes colecciones esto puede suponer un auténtico problema si no es gestionado correctamente.
- En cuanto a las limitaciones físicas, determinadas morfologías y superficies excesivamente lisas, cromáticamente homogéneas y brillantes constituyen un importante obstáculo a la hora de obtener documentación tridimensional de calidad.
- Aunque estos inconvenientes pueden paliarse en mayor o menor medida, el resultado final no es el esperable.

La realización de modelos como los de la *terra sigillata* es un claro ejemplo de ello. La superficie lisa, brillante y homogénea de estas piezas dificultaba enormemente el proceso de captura limitando además la calidad de la malla geométrica de los modelos resultantes y, con ello, las posibilidades de análisis de estos.

Hemos de ser consciente de que la fotogrametría no deja de ser una fuente más de datos e información, a veces incompleta, y que ha de procesarse. El modelo 3D es el principio de un complejo y extenso sistema de postprocesos que nos permiten evitar la anodina dinámica del “modelo por el modelo”. Para evitar caer en ella se hace necesaria la correcta planificación de los levantamientos fotogramétricos, una elección acertada de las piezas y un trabajo posterior igualmente minucioso.

En este sentido, la reconstrucción, restauración y recreación de índole virtual se convierten en herramientas esenciales a la hora de hacer accesible una disciplina como la Arqueología. En la búsqueda por una Arqueología cada vez más social y comprensible, esta debe ser una, sino la principal, de las líneas de interés de la Arqueología Virtual en particular, y la Arqueología en general. Una de las aplicaciones más útiles y beneficiosas para una sociedad que, en definitiva, debería convertirse en nuestro principal objetivo como arqueólogos. A este respecto, *softwares* como Blender, plataformas de visualización online como Sketchfab o el *crowdsourcing* tienen una gran importancia como ejes a través de los cuales gestionar y difundir un conocimiento científico más comprensible.

El análisis morfométrico, un componente esencial en Arqueología, se ve igualmente beneficiado por la aplicación de la fotogrametría. Después de generar modelos tridimensionales de alta resolución y perfectamente escalados, la toma de medidas se en programas como Agisoft Metashape, Blender o Meshlab, se vuelve una tarea mucho más sencilla, inocua y precisa.

Algo similar ocurre con las herramientas de cálculo volumétrico como integradas en algunos de estos *softwares*. Sin duda alguna, los análisis digitales de tipo volumétrico, se convierten en uno de los postprocesos más rentables ligados a un flujo de trabajo de fotogrametría. La inversión de tiempo que requieren es mínima en la mayoría de los casos, las cifras que arrojan son bastante precisas y permiten generar datos de gran calidad científica sin dañar con ello el objeto de estudio.

En cuanto a la idoneidad de postprocesos digitales como el RTI Virtual, la cuestión es algo más compleja. De esa idea de continuidad y uso más allá del propio objeto fotogramétrico que comentábamos anteriormente se deriva la necesidad de profundizar en la automatización de estos procedimientos. A pesar de que la interpretación sigue siendo la esencia misma de una disciplina como la Arqueología, la variable del tiempo supone actualmente un fuerte impedimento a la hora de plantear determinadas intervenciones. Las herramientas de postprocesado presentadas en esta

tesis tratan, en mayor o menor medida, de abordar dicha problemática intentando aportar soluciones que faciliten y agilicen el trabajo del arqueólogo.

A pesar de que, en ocasiones, resulta imposible competir en precisión con técnicas menos automatizadas, la rentabilidad de un modelo 3D puede ser adecuada en tanto en cuanto se invierte una mínima cantidad de tiempo en generar resultados adicionales. Por ello, la respuesta sobre si resulta viable la realización de *Reflectance Transformation Imaging* virtual se torna un tanto ambigua. Llevar a cabo este procedimiento de forma digital supone sacrificar la calidad de la técnica tradicional en pos de la no presencialidad, la rapidez y automatización. Sin embargo, en la mayoría de los casos no resulta rentable su aplicación. Esto se debe a que existen técnicas mucho más rápidas y que aportan resultados similares o incluso mejores a la hora de resaltar detalles y partes deterioradas de nuestros modelos fotogramétricos. Los Modelos Digitales de Elevaciones (DEM) aplicados sobre modelos fotogramétricos de elementos de pequeño y mediano tamaño son un claro ejemplo de ello. Ni el plus de interactividad que aporta el RTI virtual al investigador a la hora de visualizar estas piezas, ni el grado de automatización que se consigue mediante el uso de líneas de comandos específicas justifican, en la gran mayoría de los casos, la inversión de tiempo y recursos, sobre todo de *hardware*, que implica generar estos modelos de reiluminación.

Diferente es el caso de las técnicas de *Decorrelation Stretching* aplicadas directamente sobre modelos tridimensionales. Al aplicar herramientas como el *plugin* Dstretch, creado para el entorno de análisis de imagen ImageJ, propiciamos una nueva forma de entender el análisis cromático. Esta metodología no solo aporta interactividad, sino que agiliza la adquisición de datos y permite obtener resultados muchos más precisos y completos sin la necesidad de acudir de forma presencial al objeto. En este caso y aunque parezca contradictorio, el trabajo del arqueólogo se desliga del objeto para aportar una mayor complejidad analítica.

En efecto, junto a los habituales beneficios que derivan de la aplicación de Dstretch en marcos bidimensionales y fraccionados como son las fotografías, su disposición en modelos tridimensionales capaces de integrar realidades completas a través de un

modelo interactivo, puede convertirse en una herramienta interesante para la exploración de una pieza de forma previa, por ejemplo, a la toma de muestras. Esta nueva forma de visualización permite llegar a conocer con mayor precisión (submilimétrica en la mayoría de los casos) la zona donde, por ejemplo, obtener muestras de pigmentos. A diferencia de otras técnicas alternativas, el flujo de trabajo propuesto aporta precisión y comodidad con una inversión de tiempo adicional mínima.

Son evidentes también, y así ha quedado demostrado en los capítulos III y IV, las posibilidades de la fotogrametría en su combinación con las nuevas tecnologías y dispositivos de impresión 3D. Su uso con fines docentes o los beneficios que aportan para tareas de reconstrucción y consolidación física de determinadas piezas es un hecho innegable. Sin embargo, es especialmente interesante su empleo con fines de accesibilidad, para la elaboración de réplicas tiflológicas capaces de garantizar que personas con diversos grados de hipovidencia o invidencia disfruten de forma plena de un patrimonio que ha de ser universal.

De todo esto se deriva, no obstante, la necesidad de llevar a cabo una correcta gestión de toda la información generada. Para que los archivos digitales se conviertan en alternativas viables a la conservación física del patrimonio debemos ser conscientes de sus debilidades y combatirlas en la medida de lo posible. El extravío de información es un hecho peligroso si no somos lo suficientemente concienzudos a la hora de gestionar correctamente la información que estamos procesando. Por otro lado, aunque el entorno digital aporta reproducibilidad, comodidad y manipuleo prácticamente sin límites, en una época de constantes y apresurados cambios tecnológicos adolece en gran medida la obsolescencia de sus propios formatos. Todo ello se convierte en nuevas formas de deterioro y pérdida patrimonial en las que habría que hacer especial hincapié en los años venideros. Si queremos depender de estas nuevas vías de conservación es imprescindible protegerlas tanto como a sus originales físicos.

En una sociedad cada vez más enlazada y tecnificada, la interdisciplinariedad y la creación de flujos de trabajo o dinámicas cada vez más complejas y universales es una realidad que no podemos ni debemos parar, sino propiciar.

6 FUTURAS LÍNEAS DE ACTUACIÓN

Por último, se aportan algunas de las posibles líneas de actuación a seguir en futuras investigaciones. Durante el transcurso de la presente tesis se ha diseñado un flujo de trabajo específico que trata de aprovechar el máximo potencial de las réplicas digitales generadas a partir de fotogrametría multimagen. No obstante, dado el vertiginoso avance de estas herramientas, resulta necesaria una constante actualización de los conocimientos que implica su uso.

Es de vital importancia, por tanto, seguir ahondando en la automatización y precisión de algunos de los procedimientos generados a lo largo de este trabajo. El carácter voluble y variable de gran parte de estos *softwares* se convierte, a veces, en un importante hándicap a la hora de generalizar y normalizar su uso. El arqueólogo actual busca un flujo metodológico sencillo, rápido, pero altamente preciso. En adelante habríamos de potenciar nuestras habilidades en torno al lenguaje informático y la programación de acciones cada vez más complejas que nos proporcionen los mecanismos adecuados para su consecución.

Por otro lado, no debemos olvidar que la naturaleza social de la Arqueología sigue siendo nuestro principal objetivo. Para ello, es esencial seguir trabajando en una mayor apertura y accesibilidad, ya no solo de los productos finales que se obtienen a partir de estas herramientas informáticas, sino de los propios mecanismos que los generan. Es necesario fomentar el uso del *software libre* y producir, si así se requiere, herramientas informáticas propias y basadas en la ética *hacker*.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3DFLOW. (2014). *3DF Zephyr* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <http://www.3dflow.net/>
- AA.VV. (1931). Carta de Atenas.
- AA.VV. (1975). Carta Europea del patrimonio arquitectónico y declaración de Ámsterdam. 1975.
- AA.VV. (1985). Convenio para la Salvaguarda del Patrimonio Arquitectónico de Europa. Convención de Granada.
- AA.VV. (2007a). *Documentos fundamentales para el Patrimonio Cultural. Textos internacionales para su recuperación, repatriación, conservación, protección y difusión*. Lima: Instituto Nacional de Cultura del Perú.
- AA.VV. (2007b). Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades. *Boletín Oficial del Estado*, (89), 16241-16260.
- AA.VV. (2009). *London Charter*. Recuperado de <http://www.londoncharter.org/index.html>
- AA.VV. (2013a). Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social. *Boletín Oficial del Estado*, (289), 95635-96673.
- AA.VV. (2013b). *Reflectance Transformation Imaging. Guide to Highlight Image Capture* (Cultural Heritage Imaging, Ed.). San Francisco: CHI.
- AA.VV. (2016). *Decima sesión ordinaria de la UNESCO, Paris, 2016*.
- AA.VV. (2018). Lector Código QR. Recuperado de <https://www.greenapplestudio.ca/>
- ABASCAL PALAZÓN, J. M. (1992). La cerámica pintada de tradición indígena en las áreas ibéricas de la Hispania romana. En *Les ceràmiques de tècnica ibèrica a la Catalunya romana (segles II a.C.-I d.C.)* (pp. 91-96). Barcelona: Societat Catalana d'Arqueologia.
- ABASCAL PALAZÓN, J. M. (2008). Las cerámicas 'Tipo Clunia' y otras producciones pintadas hispanorromanas. En D. Bernal Casasola & A. Ribera i Lacombrá (Eds.), *Cerámicas hispanorromanas: un estado de la cuestión* (pp. 429-444). Cádiz: Universidad de Cádiz.

- ABELLEIRA DURÁN, M., MALDONADO RUIZ, A., MARTÍN ESQUIVEL, A. (2018). *Informe I Curso de Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Digitalización, Estudio y Análisis Espacial del Registro Arqueológico*. Granada: Escuela Internacional de Posgrado.
- ADAMS, J., BECKER, S., CUMMINS, M., ESTRADA, V., FREEMAN, A., HALL, C. (2016). *NMC Informe Horizon 2016 Edición Superior de Educación*. Austin: The New Media Consortium.
- ADOBE, I. (1990). *Adobe Photoshop* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.adobe.com/la/>
- ADOBE, I. (2006). *Adobe Lightroom* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.adobe.com/la/>
- ADROHER AUROUX, A. M., DÍAZ NAVARRO, S., GARCÍA-MARTÍNEZ DE LAGRÁN, Í., ROJO GUERRA, M. Á., MALDONADO RUIZ, A., MARTÍN ESQUIVEL, A., ... ROUCO COLLAZO, J. (2019). *Informe del II Curso Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Digitalización, Estudio y Análisis Espacial del Registro Arqueológico*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- ADROHER AUROUX, A. M., ESQUIVEL GUERRERO, J. A., MALDONADO RUIZ, A., DORADO ALEJOS, A., CORIA NOGUERA, J. C., GÁMIZ CARO, J., ... GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ, M. (2019). Virtual 3D UGR. *Arqueología en Red*. Recuperado de <https://virtual3dugr.prehistoriayarqueologia.org/>
- AGISOFT LLC. (2006). *Agisoft Metashape* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.agisoft.com/>
- ACKERMANN, F. (1984). Digital image correlation: performance and potential application in photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 11(64), 429-439.
- ALBERTZ, J. (2002). Albrecht Meydenbauer-Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5/C7), 19-25.
- ALBERTZ, J., WIEDEMANN, A. (1995). Acquisition of CAD Data from Existing Buildings by Photogrammetry. En P. J. Pahl & H. Werner (Eds.), *Computing in Civil and Building Engineering* (pp. 859-866).
- ALLEY, R. (1996). *Algorithm Theoretical Basis Document for Decorrelation Stretch*. Recuperado de <http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/handle/2014/18630>
- ALMAGRO, A. (2004). Sobre el uso métrico de fotografías digitales en los levantamientos arquitectónicos. *Dibujar lo que no vemos, X Congreso internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, EGA 2004*, 351-359. Granada.

- ALMAGRO GORBEA, A. (2003). De la Fotogrametría a la infografía. Un proceso informatizado de documentación. En *Informática y Arqueología medieval* (pp. 47-81).
- ALMAGRO GORBEA, A. (2002). La Real Academia de la Historia y la arqueología española. En S. Quero Castro y A. Pérez Navarro (Eds.), *Historiografía de la arqueología española. Las instituciones* (pp. 47-81). Madrid: Museo de San Isidro.
- ALTAMIRANO GARCÍA, M., ALARCÓN GARCÍA, E. (2018). Bone tools for the deceased: Approaches to the worked osseous assemblage from the Bronze Age funerary cave of Biniadris (Menorca, Spain). *Quaternary International*, 472, 108-114.
- AMORES CARREDANO, F., Y CHISVERT JIMÉNEZ, N. (1993). Tipología de la cerámica bajomedieval y moderna sevillana (s. XV-XVIII). *SPAL*, 2, 269-325.
- ANGÁS PAJAS, J A; SERRETA OLIVÁN, A. (2012). Métodos, técnicas y estándares para la documentación geométrica del patrimonio cultural. *Virtual Archaeology Review*, 3(5), 38-42.
- ANTÓN, D., MEDJDOUB, B., SHRAHILY, R., MOYANO, J. (2018). Accuracy evaluation of the semi-automatic 3D modeling for historical building information models. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(5), 790-805.
- APARICIO RESCO, P. (2016a). La reconstrucción virtual de la iglesia mudéjar de San Miguel del Monte (Guadalajara, España). *Debates de Arqueología Medieval*, 6, 183-208.
- APARICIO RESCO, P. (2016b). La torre almenara de San García, Algeciras (s. XVII-XVIII). Recuperación virtual de una estructura militar gracias a la tecnología. *OTARQ*, 1, 325-334.
- APARICIO RESCO, P. (2019). La Mochila. Souvenirs Virtuales en 3D. Recuperado de https://lamochila3d.wordpress.com/?fbclid=IwAR3EV6DVUyJisaaV9GALCjLge0qZE HkqrEAgLePKP5msWu_5QtWlWwGrZUY
- APARICIO RESCO, P., FIGUEIREDO, C. (2016). El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica. *OTARQ*, 1, 235-247.
- ARANDA JIMÉNEZ, G. (2001). *El análisis de la relación forma-contenido de los conjuntos cerámicos del yacimiento arqueológico del Cerro de la Encina (Granada, España)*. BAR International Series 927. Oxford: Oxford University Press.
- AROCENA, R. (2014). La investigación universitaria en la democratización del conocimiento. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 9(27), 85-

102.

- ASCHERSON, N. (2000). Editorial. *Public Archaeology*, 1(1), 1-4.
- AUTODESK. (2009). *123D Catch* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <http://www.123dapp.com/>
- AUTODESK. (2013). *Autodesk ReCap Studio* (p. en línea). p. en línea. San Rafael: Aut.
- BAKER, D. (2016). Defining Paradata in Heritage Visualization. En *Paradata and Transparency in Virtual Heritage2* (pp. 163-177).
- BALTSAVIAS, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2), 83-94.
- BALZANI, M., PELLEGRINELLI, A., PERFETTI, N., UCCELI, F. (2002). A terrestrial 3d laser scanner-accuracy tests. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5/C7), 445-453.
- BARREAU, J.-B., NICOLAS, T., BRUNIAUX, G., PETIT, E., PETIT, Q., BERNARD, Y., ... GOURANTON, V. (2014). *Ceramics Fragments Digitization by Photogrammetry, Reconstructions and Applications*. 2-9.
- BARRERA VERA, J. A. (2006). *Aplicación de tecnologías innovadoras en la documentación geométrica del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico (tesis doctoral)*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- BARRERO MARTÍN, N. (2018). Anillo con entalle de Eneas huyendo de Troya. Nueva incorporación en las colecciones del Museo Nacional de Arte Romano. En S. Perea Yébenes y J. Tomás García (Eds.), *Glyptós. Gemas y Camafeos Greco-romanos: Arte, Mitologías, Creencias* (pp. 11-21). Madrid: Signifer Libros.
- BAYOD PUCINI, C. (2017). Tecnología digital 3D aplicada a la documentación, reconstrucción y difusión del patrimonio cultural. En M. Bueso (Ed.), *La ciencia y el arte VI. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio* (pp. 53-67). Madrid: Ministerio de Cultura y Deportes, Instituto de Antropología e Historia y Asociación Tikal.
- BENAVIDES LÓPEZ, J. A. (2017). *Nuevas Tecnologías aplicadas a la Documentación Gráfica del Patrimonio (tesis doctoral)*. Granada: Universidad de Granada.
- BENAVIDES LÓPEZ, J. A., ARANDA JIMÉNEZ, G., SÁNCHEZ ROMERO, M., ALARCÓN GARCÍA, E., FERNÁNDEZ MARTÍN, S., LOZANO MEDINA, A., ESQUIVEL GUERRERO, J. A. (2016). 3D modelling in archaeology: The application of Structure from Motion methods to the study of the megalithic necropolis of Panoria (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, 495-506.

- BENAVIDES LÓPEZ, J.A., MARTÍN CIVANTOS J.M^a., ROUCO COLLAZO, J. (en prensa). Levantamiento arquitectónico y análisis arqueológico del Castillo de Piñar, como punto de partida para su conservación. *Virtual Archaeology Review*.
- BENTKOWSKA-KAFEL, A., DENARD, H., BAKER, D. (2016). Paradata and Transparency in Virtual Heritage. En A. Bentkowska-Kafel, H. Denard, & D. Baker (Eds.), *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*.
- BEVAN, A., LI, X., MARTINÓN-TORRES, M., GREEN, S., XIA, Y., ZHAO, K., ... REHREN, T. (2014). Computer vision, archaeological classification and China's terracotta warriors. *Journal of Archaeological Science*, 49(1), 249-254.
- BHARGAVA, N., BHARGAVA, R., TANWAR, P. (2013). Triangulated Irregular Network Model from Mass Points. *International Journal of Advanced Computer Research*, 3(2), 172-176. Recuperado de http://theaccents.org/ijacr/papers/june_2013/31.pdf
- BLENDER. (1998). *Blender* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.blender.org/>
- BONACCHI, C. (2017). Digital Media in public archaeology. En G. Moshenska (Ed.), *Key Concepts in Public Archaeology* (pp. 60-72). London: UCL Press.
- BONACCHI, C., BEVAN, A., PETT, D., KEINAN-SCHOONBAERT, A., SPARKS, R., WEXLER, J., WILKIN, N. (2014). Crowd-sourced Archaeological Research: The MicroPasts Project. *Archaeology International*, 17(17), 61-68.
- BONNEVAL, H. (1972). *Photogrammetrie Generale*. Paris: Eyrolles.
- BOTT, C., PHROPHIT, M., SIEBRANDT, D. (2015). Project Mosul. *Current World Archaeology*, 2015(72), 10-11. Recuperado de <http://projectmosul.org/>
- BRAAM, D. (2017). *Ultimaker Cura*.
- BRAINERD, G. (1958). *The Archaeological Ceramics of Yucatan. Anthropological records 19*. Los Ángeles: University of California Press.
- BRANDI, C. (1972). Carta del Restauo 1972. *Teoría de la restauración*, 149.
- BRAUDEL, F. (1987). *El Mediterráneo y el mundo mediterráneo en la época de Felipe II*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- BRODU, N., LAGUE, D. (2012). 3D terrestrial lidar data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion: Applications in geomorphology. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68(1), 121-134.

- BURDICK, A., DRUCKER, J., LUNENFELD, P., SCHNAPP, J. (2012). *Digital Humanities*. Massachusetts Institute of Technology.
- CAILLEUX, A. (1963). *Code des couleurs des sols*. Paris: Boubée.
- CALLAGHAN, M. (2008). Cerámica del periodo Preclásico Terminal y tecnología de prestigio en la región de Holmul, Petén. En J. P. Laporte, B. Arroyo, y H. Mejía (Eds.), *XXI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2007* (pp. 868-891). Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.
- CAINE, A., FINDLAY, C., HOWELL, A. (2007). *Preservation Solutions Australia*. Noumea: ED. UNESCO.
- CAINE, M., MAGGEN, M., ALTARATZ, D. (2019). Combining RTI & SFM. A Multi-Faceted approach to Inscription Analysis. En V. Cappellini (Ed.), *Electronic Imaging & the Visual Arts EVA 2019 Florence* (pp. 97-105). Firenze: Firenze University Press.
- CAMPANA, S. (2017). Drones in Archaeology. State-of-the-art and Future Perspectives. *Archaeological Prospection*, 24(4), 275-296. <https://doi.org/10.1002/arp.1569>
- CAMPBELL, N. A. (1996). The decorrelation stretch transformation. *International Journal of Remote Sensing*, 17(10), 1939-1949.
- CANOSA-BETÉS, J. (en prensa). Fotogrametría, sig y teledetección para la reconstrucción del paisaje pretérito del embalse de la serena, badajoz. *Da Interdisciplinaridade à Transversalidade da Arqueologia*.
- CARANDINI, A. (1997). *Historias en la tierra. Manual de excavación arqueológica*. Barcelona: Crítica.
- CARBONELL CARRERA, C., SAORÍN, J. L., MEIER, C., MELIÁN DÍAZ, D., DE LA TORRE CANTERO, J. (2016). Tecnologías para la incorporación de objetos 3D en libros de papel y libros digitales/ Technologies for incorporating 3D objects in paper and digital books. *El profesional de la información*, 25(4), 661-670.
- CARO, J., LUQUE, A., ZAYAS, B. (2015). Nuevas tecnologías para la interpretación y promoción de los recursos turísticos culturales. *Pasos. Revista de Turismo Y Patrimonio Cultural*, 13(4), 931-945.
- CARRASCO PIZANA, P. (1986). *Los otomíes. Cultura e historia prehispánica de los pueblos mesoamericanos de habla otomiana*. Ciudad de México: Ediciones del Gobierno del Estado de México.
- CARRERO-PAZOS, M., VÁZQUEZ-MARTÍNEZ, A., VILAS-ESTÉVEZ, B. (2016). AsTrend: Towards a new method for the study of ancient carvings. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 9, 105-119.

- CASTAÑO FERNÁNDEZ, S., RUIZ GALLARDO, J., VELA MAYORGA, A. (1996). La teledetección. Sus bases. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 11, 183-194.
- CASTILLO POMEDA, J. M., ORTIZ SOBRINO, M.A. (2000). La perspectiva. del renacimiento al 3-d. *Revista de Ciencias de la Información, Año XVII(27)*, 56-67.
- CEFALU, A., HAALA, N., FRITSCH, D. (2017). Hierarchical Structure from Motion combining global image orientation and structureless bundle adjustment. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Informations System, XLII-1/W1*, 535-542.
- CHALIKIAS, K., BEELER, M., PEARCE, A., RENETTE, S. (2015). *The Future of the Past: From Amphipolis to Mosul, New Approaches to Cultural Heritage Preservation in the Eastern Mediterranean*. Recuperado de https://www.archaeological.org/sites/default/files/files/HCA_FutureofthePast-AIAJuly2016.pdf
- CHAMORRO, R. (2008). Una revolución en el turismo gracias a las TIC. *Bit*, 170, 30-33.
- CHANGCHANG, W. (2013). *Visual SFM*. Recuperado de <http://ccwu.me/vsfm/>
- CHARQUERO BALLESTER, A. M. (2016). Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología. *DAMA. Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico*, 1, 139-157.
- CHARQUERO BALLESTER, A. M., LÓPEZ LILLO, J. A. (2012). Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant). *Virtual Archaeology Review*, 3(5), 81-88. Recuperado de <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4529/4665>
- CHI. (2013a). *Guide to RTIViewer v 1.1*. San Francisco: Cultural Heritage Imaging. Recuperado de http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/index.html
- CHI. (2013b). *RTIBuilder* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/
- CHI. (2013c). *RTIviewer* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/
- CHI. (2016). *Reflectance Transformation Imaging: Guide to Highlight Image Processing*. San Francisco: Cultural Heritage Imaging. Recuperado de http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Process/index.html

ml

- CHOAY, F. (2007). *Alegoría del Patrimonio*. Barcelona: Gustavo Gili.
- CHOCLÁN SABINA, C. (1984). *Cerámica iberorromana producida en los alfares de Los Villares de Andújar (Jaén). Campañas 1981-82*. Granada: Universidad de Granada.
- CHOW, S., CHAN, K. (2009). Reconstruction of photorealistic 3D model of ceramic artefacts for interactive virtual exhibition. *Journal of Cultural Heritage*, 10, 161-173.
- CIGNONI, P., CALLIERI, M., CORSINI, M., DELLEPIANE, M., GANOVELLI, F., RANZUGLIA, G. (2008). MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool. *Eurographics Italian Chapter Conference 2008: Salerno, Italy*, 129-136.
- CLARKE, D. L. (1977). *Spatial Archaeology*. New York: Academic Press.
- COLLADO, F., RUIZ, A., TORO, M. (2013). Aplicación del plugin DStretch para el programa ImageJ al estudio de las manifestaciones pictóricas del abrigo Riquelme (Murcia). *Cuadernos de Arte Rupestre*, 6(January 2011), 113-127. Recuperado de <http://cuadernosdearterupestre.es>
- CONTRERAS CORTÉS, F. (1986). *Aplicación de métodos estadísticos y analíticos a los complejos cerámicos de la Cuesta del Negro (Purullena, Granada) (tesis doctoral)*. Universidad de Granada.
- CORNETTO, A.D., SUWAY, J. (2019). Validation of the Cycles Engine for Creation of Physically Correct Lighting Models. *SAE Technical Paper*, 1004, 1-11.
- CORSINI, M., DELLEPIANE, M., GANOVELLI, F., GHERARDI, R., FUSIELLO, A., SCOPIGNO, R. (2013). Fully automatic registration of image sets on approximate geometry. *International Journal of Computer Vision*, 102(1-3), 91-111.
- COSENTINO, A. (2013). Macro Photography for Reflectance Transformation Imaging: A Practical Guide to the Highlights Method. *e-conservation Journal*, 1, 70-85.
- CRISTINELLI, G. (2004). Fundamentos, fines y ámbitos de la intervención para la conservación en la Carta de Cracovia. *PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 50, 51-59.
- CUSTODIO, L., PESCO, S., SILVA, C. (2019). An extended triangulation to the Marching Cubes 33 algorithm. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 25(1), 6.
- DAIFUKU, H. (1969). La importancia de los bienes culturales. En UNESCO (Ed.), *La Conservación de los bienes culturales con especial referencia a las condiciones tropicales* (p. 361). Paris: UNESCO.

- DALLAS, R.W.A. (1996). Architectural and archaeological photo-grammetry. En K.B. Atkinson (Ed.), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision* (pp. 283-303). Dunbeath: Whittle publishing.
- DALTON, M. S., CHARNIGO, L. (2004). Historians and their information sources. *College and Research Libraries*, 65(5), 400-425. Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/57615054?accountid=14167%5Cnhttp://hj8rd9ww6h.search.serialssolutions.com/directLink?&atitle=Historians+and+their+information+sources&author=Charnigo,+Laurie;Dalton,+Margaret+Stieg&issn=00100870&title=College+and+Researc>
- DEDÍK, L., MINAROVIECHH, J. (2017). Project of the Digital Monuments Funds: Digitization of the Cultural Heritage of Slovakia. *Studies in Digital Heritage*, 1(2), 590-606.
- DEGUY, S. (2011). *Substance Painter* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.substance3d.com/download/>
- DELLEPIANE, M., CORSINI, M., CALLIERI, M., SCOPIGNO, R. (2006). *High Quality PTM Acquisition: Reflection Transformation Imaging for Large Objects. BT - VAST 2006: The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage, Nicosia, Cyprus, 2006. Proceedings* (pp. 179-186). pp. 179-186.
- DE REU, J.,... DE CLERCQ, W. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40(2), 1108-1121.
- DEWEY, J. M. (1939). *Biography of John Dewey*. Recuperado de https://brocku.ca/MeadProject/Dewey/Dewey_1939.html
- DEY, S. (2018). Potential and limitations of 3D digital methods applied to ancient cultural heritage: insights from a professional 3D practitioner. En *Digital Imaging of Artefacts: Developments in Methods and Aims* (pp. 5-35). Summertown: Archaeopress.
- DÍAZ MARÍN, C., AURA CASTRO, E. (2016). Restauración de vidrio arqueológico: reconstrucción de fragmentos. *8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation «ARQUEOLÓGICA 2.0»*, 330-332.
- DOMÍNGUEZ VILA, T., ARAÚJO VILA, N. (2012). El fenómeno 2.0 en el sector turístico. El caso de Madrid 2.0. *Pasos. Revista de Turismo Y Patrimonio Cultural*, 10(3), 225-237.
- DONEUS, M., VERHOEVEN, G., FERA, M., BRIESE, Ch., KUCERA, M., NEUBAUER, W.

- (2011). From deposit to point cloud a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations. *Geoinformatics FCE CTU*, 6, 81-88.
- DORADO ALEJOS, A. (2018). El análisis de imagen como aportación metodológica al estudio de las cerámicas pintadas de la Prehistoria reciente: casos de estudio desde el sudeste de la Península Ibérica. *Arqueología Iberoamericana*, S2, 9-14. Recuperado de <http://laiesken.net/arqueologia>
- DORADO ALEJOS, A. (2019). *Caracterización de las producciones cerámicas de Andalucía Oriental y el Sudeste de la Península Ibérica: del Bronce Tardío al Hierro Antiguo (1550/1500 – 550 cal AC): Granada: Universidad de Granada (tesis doctoral)*. Granada: Universidad de Granada.
- DORADO ALEJOS, A., MOLINA GONZÁLEZ, F., CONTRERAS CORTES, F., NÁJERA COLINO, T., CARRIÓN MÉNDEZ, F., SÁEZ PÉREZ, L., ... GÁMIZ CARO, J. (2015). El Cerro De Cabezuelos (Jódar, Jaén): Un Asentamiento Del Bronce Final En El Alto Guadalquivir. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 25, 257-347.
- DRAGENDORFF, H. (1981). La Sigillée. Avignon: Revue archéologique Sites.
- DRESCHER, N., ENGELKING, N. (2019). QR Code Generator. Recuperado de <https://es.qrcode-generator.com/>
- DURST, A. (2010). *Women Educators in the Progressive Era. The women behind Dewey's Laboratory School*. New York: Palgrave Macmillan.
- DVDVIDEOSOFT LTD. (2016). *Free Video to JPG Converter* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://free-video-to-jpg-converter.uptodown.com/windows>
- EARL, G., BASFORD, P., BISCHOFF, A., BOWMAN, A., CROWTHER, C., DAHL, J., ... PIQUETTE, K. (2011). Reflectance Transformation Imaging Systems for Ancient Documentary Artefacts. En J. Bowen, S. Dunn, y K. Ng (Eds.), *VA London 2011: Electronic Visualisation and the Arts* (pp. 147-154). BCS.
- EARL, G., MARTÍNEZ, K., MALZBENDER, T. (2010). Archaeological applications of polynomial texture mapping: analysis, conservation and representation. *Journal of Archaeological Science*, 37(8), 2040-2050.
- EL-HABROUK, H., LI, X. P., FAIG, W. (1996). Determination of geometric characteristics of a Digital Camera by Self-Calibration. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXI-B1, 60-64.
- ESCLAPÉS JOVER, F. J., MOLINA VIDAL, J., MUÑOZ OJEDA, J., FABREGAT BOLUFER, L.,

- TEJERINA ANTÓN, D. (2017). La restauración virtual. Aplicaciones a la conservación del patrimonio arqueológico. En M. Bueso (Ed.), *La Ciencia y el Arte VI Ciencias experimentales y conservación del patrimonio* (pp. 152-164). Madrid: Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones.
- ESQUIVEL SÁNCHEZ, F. J., ALARCÓN MORENO, L., ESQUIVEL GUERRERO, J. A., FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. I. (2019). Caracterización estadística y registro de la terra sigillata hispánica a partir de restos de un vertedero del alfar romano de Isturgi (Los Villares de Andújar, Jaén). *SPAL. Revista de Prehistoria y Arqueología*, 28.1, 173-192.
- FASSI, F., FREGONESE, L. (2013). Between Laser Scanning and Automated 3D Modelling Techniques To Reconstruct Complex and Extensive Cultural Heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 73-80.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, D. (1977). Un nuevo tipo de cerámicas romanas de tradición celtibérica. En *Segovia y la arqueología romana* (pp. 177-184). Barcelona: Universitat de Barcelona.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I. (1988). *Los Diversos Estilos Decorativos de la Sigillata Hispánica de Andújar (tesis doctoral)*. Granada: Universidad de Granada.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I. (1999). Breve Introducción al Estudio de la Terra Sigillata. Córdoba: Centro de Estudios Universidad y Progreso.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, M^a.I. (2004). Alfares y producciones cerámicas en la provincia de Jaén. Balace y perspectivas. En D. Bernal y L. Lagostena (Eds). *Figlinae Baeticae. Talleres alfareros y producciones cerámicas en la Bética romana (SS. II a.C.- VII d.C.)*. *International Series 1266* (pp. 239-272). Oxford: British Archeological Reports.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, M^a.I. (2011). Decoración y conceptualización. Una propuesta metodológica. *CVDAS, revista de Arqueología e Historia*, 9-10 (2008-2009), 119-136.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I. (2012). Estructuras de producción y comercialización de los centros de producción de terra sigillata hispánica. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, 22, 379-396.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I. (2013a). Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén (España). Roma: Quasar.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, M^a.I (2013b). Una aproximación a la cronología de los alfares isturgitanos. En M^a.I. Fernández García (Coord.) *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp.317-320).

Roma: Quasar.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I. (2015). El centro de producción de terra sigillata hispánica de Los Villares de Andújar, Jaén, España. En María Isabel Fernández García, P. Ruiz Montes, y M. V. Peinado Espinosa (Eds.), *Terra Sigillata Hispánica: 50 años de Investigaciones* (pp. 57-84). Roma: Quasar.

FERNÁNDEZ GARCÍA, M^a.I. (2019). La terra sigillata hispánica de Los Villares de Andújar y su materialización en los centros receptores. En M^a. I. Fernández García y E. Gómez Martínez (Coords.), *La cerámica de mesa romana en sus ámbitos de uso. Terra sigillata Hispánica* (pp. 13-61). Andújar: Excmo Ayuntamiento de Andújar y Universidad de Granada.

FERNÁNDEZ GARCÍA, M^a.I. (en prensa). Producción y adquisición de terra sigillata hispánica de origen bético. En R. Járrega y E. Colom (Eds.), *Figlinae Hispaniae. Nuevas aportaciones al estudio de los talleres cerámicos de la Hispania romana*. Tarragona: I.C.A.C.

FERNÁNDEZ GARCÍA, M^a.I. Y FERNÁNDEZ BAQUERO, M^a.E. (2019). Los alfares isturgitanos: aspectos jurídicos. En M^a.I. Fernández García y E. Gómez Martínez (Coords.), *La cerámica de mesa romana en sus ámbitos de uso. Terra sigillata Hispánica* (pp. 63-83). Andújar: Excmo Ayuntamiento de Andújar y Universidad de Granada.

FERNÁNDEZ GARCÍA, M^a.I. Y FERNÁNDEZ BAQUERO, M^a.E. (en prensa). Estructuras humanas de producción en la terra sigillata hispánica de Los Villares de Andújar a la luz de la legislación romana. En R. Járrega y E. Colom (Eds.), *Figlinae Hispaniae. Nuevas aportaciones al estudio de los talleres cerámicos de la Hispania romana*. Tarragona: I.C.A.C.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I., MACÍAS FERNÁNDEZ, I. (2013). Terra sigillata hispánica: producción lisa. En María Isabel Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 181-196). Roma: Quasar.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I., MORENO ALCAIDE, M. (2013). Terra sigillata hispánica: producción decorada. En M^a.I. Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 197-232). Roma: Quasar.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I., RUIZ MONTES, P., PEINADO ESPINOSA, M. V. (2008). El Proyecto Isturgi: reformularse o morir. *Boletín Instituto de Estudios Giennenses*, 198, 173-188.

- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I., RUIZ MONTES, P., PEINADO ESPINOSA, M. V. (2016). Alfares y producción de cerámicas (siglos I a.C.- V d.C.). En R. Hidalgo Prieto (Ed.), *Las Villas Romanas de la Bética* (pp. 345-388). Granada: Editorial Universidad de Granada.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I., RUIZ PARRONDO, A. y RUIZ MONTES, P. (2007). Indicios de Jerarquización en la primera época productiva del complejo alfarero de Los Villares de Andújar *CVDAS, revista de Arqueología e Historia* 3-4 (2002-2003), 59-71.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M^a.I., SERRANO ARNÁEZ, B. (2013). Estructuras humanas de producción. En M^a. I. Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 91-108). Roma: Quasar.
- FERNÁNDEZ-LOZANO, J., GONZÁLEZ-DÍEZ, A., GUTIÉRREZ-ALONSO, G., CARRASCO, R., PEDRAZA, J., GARCÍA-TALEGÓN, J., ... MORELLÓN, M. (2018). New Perspectives for UAV-Based Modelling the Roman Gold Mining Infrastructure in NW Spain. *Minerals*, 8(11), 518-540.
- FERNÁNDEZ-LOZANO, J., GUTIÉRREZ-ALONSO, G. (2016). Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 5, 509-520.
- FERNÁNDEZ MARTÍN, S. (2012). *Clasificación tipológica de la cerámica del yacimiento de la Edad del Bronce de la Motilla del Azuer (Ciudad Real, España)*. Oxford, BAR International Series 2377. Oxford: Oxford University Press.
- FLANDERS, J., PIEZ, W., TERRAS, M. (2007). Welcome to Digital Humanities Quarterly. *Digital Humanities Quarterly*, 1(1), en línea. Recuperado de <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/001/1/000007/000007.html>
- FLORIANI, L. DE, MAGILLO, P. (2009). Triangulated Irregular Network. En L. Liu y M. T. Özsu (Eds.), *Encyclopedia of Database Systems* (pp. 3178-3179).
- FONSTAD, M, DIETRICH, J., COURVILLE, B., JENSEN, J., CARBONNEAU, P. (2013) Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Land-forms*, 38(4), 421-430.
- FORTE, M., DELL'UNTO, N., ISSAVI, J., ONSUREZ, L., LERCARI, N. (2012). 3D archaeology at Çatalhöyük. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(3), 351-378.
- FORTE, M. (2011). *Cyber-Archaeology*. BAR International Series. British Archaeological Reports Oxford Ltd.
- FORTE, M., LECLANT, J. (1996). *Arqueología: paseos virtuales por la civilizaciones*

desaparecidas. Barcelona: Grijalvo.

FORTE, M., SILIOTTI, A. (1997). *Virtual Archaeology. Re-creating ancient worlds*. New York: Harry N. Abrams.

FRÍAS CASTILLEJO, C., LÓPEZ MIRA, J. A. (2017). Nuevas tecnologías aplicadas a la gestión turística del patrimonio arqueológico. *Actas de las II Jornadas de Museos y Colecciones Museográficas Permanentes de la Comunidad Valenciana*. l'Alfàs del Pi: Universitat d'Alacant.

GALINA-RUSELL, I. (2011). ¿Qué son las Humanidades Digitales? *Revista Digital Universitaria*, 12(7), 3-8.

GALINA-RUSSELL, I. (2012). Retos para la elaboración de recursos digitales en humanidades. *El Profesional de la Informacion*, 21(2), 185-189.

GARCÍA CANO, J. M., GONZÁLEZ, F. G. (2013). Nuevos Enfoques Para El Estudio De Las Cerámicas Áticas : La Morfometría a Propósito De Un Skyphos De Lorca. *Alberca*, 11, 29-49.

GARCÍA, E., OSUNA, R. (2019). *Fundamentos de fotografía digital*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266216417_Fundamentos_de_fotografia_digital

GARCÍA CUETOS, M. P. (2012). *El patrimonio cultural. Conceptos básicos*.

GARCÍA PAYÓN, P. (1941). La cerámica del Valle de Toluca. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos*, V(2-3), 209-238.

GARSTKI, K. (2017). Virtual Representation: the Production of 3D Digital Artifacts. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 24(3), 726-750.

GENTLEMAN, R., IHAKA, R. (1993). *R Software* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.r-project.org/foundation/>

GIACHETTI, A., DAFFARA, R., REGHELIN, C., GOBBETTI, E., PINTUS, R. (2015). Light calibration and quality assessment methods for Reflectance Transformation Imaging applied to artworks' analysis. En L. Pezzati & P. Targowski (Eds.), *Proc. SPIE 9527, Optics for Arts, Architecture, and Archaeology V* (pp. 1-10).

GILEWSKI, M. (2015). New Imaging Techniques and Polish Archaeology Impressions on RTI and Slow-Motion Techniques. *New World Archaeology*, 9, 133-144.

GIRARDEAU-MONTAUT, D. (2003). *CloudCompare* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.danielgm.net/cc/>

- GISBERT CERVERA, M., GONZÁLEZ MARTÍNEZ, J., ESTEVE MON, F. M. (2016). Competencia digital y competencia digital docente: una panorámica sobre el estado de la cuestión. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 0, 74-83.
- GÓMEZ, M. (2017). Historia(s) de la Imagen Digital. Recuperado de Interative website: <https://interartive.org/2017/04/historias-de-la-imagen-digital-marisa-gomez>
- GÓMEZ ROBLES, L., QUIROSA GARCÍA, V. (2009). Nuevas tecnologías para difundir el Patrimonio Cultural: las reconstrucciones virtuales en España. *e-rph. Revista electrónica del patrimonio*, 4, 1-23. Recuperado de <http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero4/estudiosgenerales/estudios/articulo.php>
- GONZÁLEZ-BLANCO GARCÍA, E. (2016). Un nuevo camino hacia las humanidades digitales: el Laboratorio de Innovación en Humanidades Digitales de la UNED (LINHD). *Signa: Revista de la Asociación Española de Semiótica*, 25, 79-93.
- GONZÁLEZ GONZÁLEZ, A., ROJAS SANDOVAL, C., DEL RIO LARA, O. (2004). *Informe Técnico Parcial Atlas Arqueológico Subacuático para el Registro, Estudio y Protección de los Cenotes en la Península de Yucatán de Noviembre de 2001 a Julio de 2003*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Subdirección de Arqueología Subacuática.
- GONZÁLEZ REYERO, S. (2016). Los Usos De La Fotografía En Favor De La Arqueología Como Ciencia Moderna. Francia 1850-1914. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología*, 27(2001), 163-182.
- GOUDINEAU, C. (1968). *La céramique arétine lisse. Fouilles de l'École Française de Rome à Bolsena 1962-1967*. Paris: E. de Boccard.
- GRANSHAW, S. I. (2019). Laussedat bicentenary: origins of photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 34(166), 128-147.
- GREEN, S., BEVAN, A., SHAPLAND, M. (2014). A comparative assessment of structure from motion methods for archaeological research. *Journal of Archaeological Science*, 46(1), 173-181.
- GRIMA, R. (2017). Presenting archaeological sites to the public. En G. Moshenska (Ed.), *2Key Concepts in Public Archaeology* (pp. 73-92). London: UCL Press.
- GRÜN, A., REMONDINO, F., ZHANG, L. (2004). Photogrammetric reconstruction of the great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. *The Photogrammetric Record*, 19(107), 177-199.

- GUGAN, D.J., DOWMAN, I.J. (1986). Design and implementation of a digital photogrammetric system. *International Archives of Photo-grammetry and Remote Sensing*, 26(2), 100-109.
- GRUSSENMEYER, P., LANDES, T., VOEGTLE, T., RINGLE, K. (2008). Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI, 213-218. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/228645072>
- GUENNEBAUD, G., GROSS, M. (2007). Algebraic point set surfaces. *ACM Transactions on Graphics*, 26(3), 23.
- HALADOVÁ, Z. B., SZEMZÖ, R., KOVAČOVSKÝ, T., ŽIŽKA, J. (2015). Utilizing Multispectral Scanning and Augmented Reality for Enhancement and Visualization of the Wooden Sculpture Restoration Process. *Procedia Computer Science*, 67, 340-347.
- HANGAC, G., WIEBOLDT, R., LAM, R., ISENHOUR, T. (1982). Compresion of an Infrared Spectral Library by Karhunen-Loeve Transformation. *Applied Spectroscopy*, 36(1), 40-47.
- HARMAN, J. (2005a). *Dstretch*. Recuperado de <http://www.dstretch.com/>
- HARMAN, J. (2005b). Using Decorrelation Stretch to Enhance Rock Art Images. *American Rock Art Research Association Annual Meeting May 28, 2005*, en línea. Recuperado de <http://www.dstretch.com/AlgorithmDescription.html>
- HASIER, M. (2014). *Iniciación a la Programación Informática en Educación Primaria con Scratch* (Universidad Pública de Navarra). Recuperado de <http://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/14363/TFG14-Gpri-MORRAS-44940.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- HERMON, S., PILIDES, D., IANNONE, G., GEORGIU, R., AMICO, N., RONZINO, P. (2011). Ancient Vase 3D Reconstruction and 3D Visualization. *CAA2011 - Revive the Past: Proceedings of the 39th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Beijing, China, 12-16 April 2011*, (April).
- HERNÁNDEZ-MUÑOZ, O., SÁNCHEZ ORTIZ, A., MATÍA MARTÍN, P. (2019). Anatomía animal. Técnicas digitales para la reconstrucción escultórica de la apariencia original de un modelo de cera. *Intervención*, año 10(19), 64-76.
- HERNÁNDEZ CARDONA, F. X. (2003). El Patrimonio como recurso en la enseñanza de las Ciencias Sociales. En E. Ballesteros Arranz, C. Fernández Fernández, J. A. Molina Ruiz y P. Moreno Benito (Eds.), *El Patrimonio y la Didáctica de las Ciencias Sociales* (p. 595).

- HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, R. (1966). Los pueblos prehispánicos del valle de Toluca. *Estudios de la Cultura Náhuatl*, 6, 219-225.
- HILL, A. C. (2019). Economical drone mapping for archaeology: Comparisons of efficiency and accuracy. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 24(April 2017), 80-91.
- HOCKEY, S. (2004). The History of Humanities Computing. En S. Schreibman, R. Siemens, & J. Unsworth (Eds.), *Companion to Digital Humanities* (pp. 3-19). Blackwell Publishing.
- HOFMANN, B. (1971). Les relations entre potiers, fabricants de moules et artistes producteurs de poinçons. *Rei Cretariae Romanae Favtorvm*, XIII, 5-20.
- HOOK, S. (1971). John Dewey and His Betrayers. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 3(7), 22-26.
- HOUSTON, S. D., STUART, D., TAUBE, K. A. (2004). Folk Classification of Classic Maya Pottery. *American Anthropologist*, 91(3), 720-726.
- HOWLAND, M. D., LEVY, T. E., KUESTER, F. (2014). Photogrammetry in the field: Documenting, recording, and presenting archaeology. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 14(4), 101-108.
- IBM. (1968). *Statistical Package for the Social Sciences* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.ibm.com/es-es/analytics/spss-statistics-software>
- ICOMOS. *Carta de Venecia*. , (1964).
- ICOMOS. (1987). *Carta Internacional Para La Conservación De Ciudades Históricas Y Áreas Urbanas Históricas (Carta De Washington 1987) Principios Y Objetivos*. 3. Recuperado de https://www.icomos.org/charters/towns_sp.pdf
- ICOMOS. (1990). *Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico*. 4.
- ICOMOS. (1999). *Carta del Patrimonio Vernáculo Construido*.
- IMAGEJ. (1997). *ImageJ*. Recuperado de <https://imagej.nih.gov/ij/>
- INSTANT MESHES (2015). *Instant Meshes* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://github.com/wjakob/instant-meshes>
- INZERILLO, L., SANTAGATI, C. (2016). Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. En M. Ioannides, E. Fink, A. Moropoulou, & M. Hagedorn-Saupe (Eds.), *EuroMed 2016: Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection* (Vol. 10058, pp. 869-879).

- ISTI-CNR. (2008). *Meshlab* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <http://www.meshlab.net/>
- JACOB, J.-P., LAREDE, H. (1982). Un aspect de l'organisation des centres de production céramique: le mythe du cartel. *Rei Cretariae Romanae Favtorvm*, XXI/XXII, 89-94.
- JAKOB, W., TARINI, M., PANOZZO, D., SORKINE-HORNUNG, O. (2015). Instant field-aligned meshes. *ACM Transactions on Graphics*, 34(6), 1-15.
- JARQUÍN, M. T. (2008). El alma del Xinantécatl. Pervivencia de ritos indígenas en el valle de Toluca. A propósito de la obra de Jacinto de la Serna. *Estudios de la Cultura Otopame*, 6(1), 89-100.
- JIANG, R., JÁUREGUI, D. V., WHITE, K. R. (2008). Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 41(8), 823-834.
- JIMÉNEZ DE CISNEROS MORENO, M. (2007). Elementos arquitectónicos del Municipium Isturgi Triumphale. *CVDAS, revista de Arqueología e Historia*, 5-6, 89-99.
- JOVER ESCLAPÉS, J., ANTÓN TEJERINA, D., BOLUFER FABREGAT, L., VIDAL MOLINA, J., MUÑOZ OJEDA, J. F. (2017). Patrimonio Virtual: aplicación práctica del uso de nuevas tecnologías a la documentación y puesta en valor del patrimonio. *Actas de las II Jornadas de Museos y Colecciones Museográficas Permanentes de la Comunidad Valenciana*, 28-37. l'Alfàs del Pi: Universitat d'Alacant.
- KARASIK, A., SMILANSKY, U. (2011). Computerized morphological classification of ceramics. *Journal of Archaeological Science*, 38(10), 2644-2657.
- KARRAS, G. E., MAVROMMATI, D. (2002). Simple calibration techniques for non-metric cameras. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5/C7), 39-46.
- KAZHDAN, M., HOPPE, H. (2013). Screened poisson surface reconstruction. *ACM Transactions on Graphics*, 32(3), 1-13.
- KERSTEN, T. P., LINDSTAEDT, M. (2012). Automatic 3D Object reconstruction from multiple images for architectural, cultural heritage and archaeological applications using open-source software and web services. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 2012(6), 727-740.
- KOTOULA, E., KYRANOUDI, M. (2013). Study of coins using Reflectance Transformation Imaging. *e-conservation*, 25, 74-88.
- KOUTSOUDIS, A., PAVLIDIS, G., ARNAOUTOGLU, F., TSIAFAKIS, D., CHAMZAS, C. (2009). Qp: A tool for generating 3D models of ancient Greek pottery. *Journal of Cultural*

Heritage, 10, 281-295.

LAGUE, D., BRODU, N. (2013). Classification of point clouds using the CANUPO software suite v1 .2. En *CloudCompare*, Vol. 2, en línea.

LAHLIL, S., LI, W., XU, J. M. (2013). Crack patterns morphology of ancient chinese wares. *The Old Potter's Almanack*, 18(1), 1-10.

LANJOUW, T. (2016). Discussing the obvious or defending the contested: why are we still discussing the Scientific value of 3D applications in archaeology? En H. Hammermans, W. de Neef, C. Piccoli, A. Posluschny y R. Scopigno (Eds.), *The Three Dimensions of Archaeology. Proceedings of the XVII UISPP World Congress (1-7 September 2014, Burgos, Spain)* (pp. 40-54). Oxford: Archaeopress Archaeology.

LAUSSEDAT, A. (1898). *Recherches sur les instruments, le méthodes et le dessin topographiques*. París: Gauthier-Villars.

LE QUELLEC, J. L., DUQUESNOY, F., DEFRASNE, C. (2015). Digital image enhancement with DStretch: Is complexity always necessary for efficiency? *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(2-3), 55-67.

LEÓN, A. J. (2006). Preservación digital vs obsolescencia de la información. *Apertura*, 3, 100-107.

LIZCANO, R. (1999). *El Polideportivo de Martos (Jaén): un yacimiento neolítico del IV Milenio A.C.* Córdoba: Obra Social y Cultural Cajasur.

LLORENS LARGO, F., GARCÍA PEÑALVO, F. J., MOLERO PRIETO, X., VENDRELL VIDAL, E. (2017). La enseñanza de la informática, la programación y el pensamiento computacional en los estudios preuniversitarios. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 18(2), 7-17.

LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V. M. (2011). Propuesta para profundizar en La Carta de Londres y mejorar su aplicabilidad en el campo del patrimonio arqueológico. *Virtual Archaeology Review*, 2(4), 65-69.

LÓPEZ MORALES, F. J. (2016). La Carta de Venecia en el siglo XXI. *Revista Gremium*, 3(5), 29-39.

LOWE, D. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. En *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, Vol. 2 (pp. 1150-1157). Washington: IEEE Computer Society.

LOWE, D. (2004). Distinctive Image Features from. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110.

- LUNA, P. (2000). El Nevado de Toluca. Sitio de veneración prehispánica. *Arqueología Mexicana*, VIII(43), 47-49.
- MALDONADO RUIZ, A. (2015). *Simbología y Funcionalidad de las Cuevas del Mayab*. Universidad de Granada.
- MALDONADO RUIZ, A. (2019). La gestión y conservación digital del patrimonio histórico-arqueológico de Alhama de Granada. *Anuario del Patronato de Estudios Alhameños, 2019*, 28-29.
- MALDONADO RUIZ, A. FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. I. (en prensa). Técnicas de digitalización, reconstrucción y visualización 3D aplicadas a los moldes de terra sigillata del yacimiento romano de Los Villares de Andújar (Municipio Isturgitano). Las posibilidades en la difusión, estudio y conservación del patrimonio arqueológico. *Pyrenae. Journal of Western Mediterranean Prehistory and Antiquity*, 51,.
- MALDONADO RUIZ, A., FERNÁNDEZ GARCÍA, M. I. (en prensa). Herramientas de reconstrucción y análisis digital aplicadas al patrimonio arqueológico de Los Villares de Andújar. El caso de los moldes de Terra Sigillata Hispánica. En M^a.I. Fernández-García y E. Gómez (Eds.), *La cerámica de mesa romana en sus ámbitos de uso: Terra sigillata Hispánica* (pp. 435-456). Andújar: Universidad de Granada y Excmo. Ayuntamiento de Andújar.
- MALZBENDER, T., GELB, D., WOLTERS, H. (2001). Polynomial Texture Maps. *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 519-528.
- MAÑANA-BORRAZÁS, P., BLANCO-ROTEA, R., SÁNCHEZ-PARDO, J. C. (2016). Fast 3D recording techniques: a low-cost method for the documentation and analysis of scattered architectural elements as a part of the EMCHAHE project. *The Three Dimensions of Archaeology. Proceedings of the XVII UISPP World Congress (1-7 September 2014, Burgos, Spain)*, 99-110.
- MARCONI, P., BALDINI, U., DEL GRANO MANGANELLI, F., DI GESO, G., DI FRANCO, L. M., MALTESE, C., ... TOESCA, I. (1987). Carta de 1987 de la conservación y restauración 1 de los objetos de arte y cultura. En *Carta De 1987 De La Conservación Y Restauración De Los Objetos De Arte Y Cultura* (Vol. 1987). Recuperado de http://ipce.mcu.es/pdfs/1987_Carta_BienesMuebles-Italia.pdf
- MARSON, N., DIAZ-NOCERA, A., REAL, J. P., PALMA, S. (2016). Las impresoras 3d y el diseño de medicamentos. *Bitácora Digital*, 3(7), 1-4.
- MARTÍN CIVANTOS, J. M., ROMERO PELLITERO, P. (2017). From 3D to GIS. A comprehensive methodology for recording stratigraphy and its application in the

- MEMOLA Project. *Disegnarecon*, 10(19), 2.1-2.16. Recuperado de <http://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/268/241>
- MARTÍNEZ GARCÍA, R. C. (2009). Los nombres de la montaña. En P. Luna, A. Montero, y R. Junco (Eds.), *Las Aguas Celestiales. El Nevado de Toluca* (pp. 56-57). Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- MARTÍNEZ JUSTICIA, M. J. (1996). *Antología de textos sobre Restauración*. Jaén: Universidad de Jaen. Servicio de publicaciones e intercambio.
- MATÉ GONZÁLEZ, M. Á., YRAVEDRA, J., GONZÁLEZ-AGUILERA, D., PALOMEQUE-GONZÁLEZ, J. F., DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M. (2015). Micro-photogrammetric characterization of cut marks on bones. *Journal of Archaeological Science*, 62, 128-142.
- MATHYS, A., BRECKO, J., SEMAL, P. (2013). Comparing 3D digitizing technologies: what are the differences? En A. C. Addison, L. De Luca, G. Guidi, & S. Pescarin (Eds.), *Proceedings of Digital Heritage International Congress, Oct. 28-Nov. 1, 2013* (pp. 201-204). Marseille.
- MATTHEW, V., COUGHENOUR, C. (2015). Rekrei. Recuperado de <https://projectmosul.org/about>
- MATTHEW, V., COUGHENOUR, C., REMONDINO, F., FLORES GUTIERREZ, M., LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V. M., FRITSCH, D. (2015). Crowd-sourcing the 3D digital reconstructions of lost cultural heritage. *2015 Digital Heritage*, 171-172.
- MATTHIAE, P. (2015). *Distruzioni Saccheggi e Rinascite. Gli attacchi al patrimonio artistico dall'antichità all'Isis*. Milano: Mondadori Libri.
- MATTIS, P., KIMBAL, S. (1995). *GNU Image Manipulation Program* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.gimp.org/>
- MAX-NEEF, M., ELIZALDE, A., HOPENHAYN, M. (2008). *Desarrollo a escala humana: Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Madrid: Biblioteca CF
- MCGIMSEY, C. (1972). *Public Archaeology*. London: Seminar Press.
- MEZQUÍRIZ IRUJO, M. Á. (1983). Tipología de la Terra Sigillata Hispánica. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 1(2), 123-131.
- MICROSOFT (2000). *Window Movie Maker* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://support.microsoft.com/es-es/help/18614/windows-essentials>
- MILES, J., PITTS, M., PAGI, H., EARL, G. (2014). New applications of photogrammetry and reflectance transformation imaging to an Easter Island statue. *ANTIQUITY*, 88, 596-

605.

- MILES, J., PITTS, M., PEGI, H., EARL, G. (2015). Photogrammetry and RTI Survey of Hoa Hakananai'a Easter Island Statue. En A. Traviglia (Ed.), *Across Space and Time. Papers from the 41st Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Perth, 25-28 March 2013* (pp. 144-164).
- MILLER, M., THOMPSON, M., PUEBLO, T. (2015). Using DStretch to Reveal Obscured Ceramic Designs : Knife-wing Imagery on El Paso Polychrome. *Pottery Southwest*, 31(3), 18-26.
- MIÑANO DOMÍNGUEZ, A., FERNÁNDEZ MATAALLANA, F., CASABÁN BANACLOCHA, 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(0), 99-109.
- MÍNGUEZ HERNÁNDEZ, M. T. (2017). *Generación de modelos 3D a partir de imágenes SEM (Scanning Electron Microscopy)*. Universidad Politécnica de Valencia.
- MISHRA, P., KOEHLER, M. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- MONTAGU, J. (1989). *Les secrets de fabrication des céramiques antiques*. Saint-Vallier: Rhône.
- MONTERO GARCÍA, I. A. (2009). Arqueoastronomía. En P. Luna, A. Montero, R. Junco (Eds.), *Las Aguas Celestiales. El Nevado de Toluca* (pp. 69-79). Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- MONTERROSO, J. (2001). *Protección y conservación del patrimonio. Principios teóricos*. Santiago de Compostela: Andavira Editora.
- MORANTE LÓPEZ, R. B. (2019). Ciclos culturales y astronómicos en Xochicalco, Morelos. *Anales de Antropología*, 53(1), 75-88.
- MORENO ONORATO, M. A. (1993). *El Malagón: un asentamiento de la Edad del Cobre en el Altiplano de Cúllar-Chirivel*. Universidad de Granada.
- MOSHENSKA, G. (2009). What is Public Archaeology? *Present Pasts*, 1, 46-48.
- MOSHENSKA, G. (2017). Introduction: public archaeology as practice and scholarship where archaeology meets the world. En G. Moshenska (Ed.), *Key Concepts in Public Archaeology* (pp. 1-13).
- MOYA, J. A. (2017). *Fotografía y fotogrametría subacuática aplicadas al patrimonio*

cultural sumergido. Sant Vicent del Raspeig: Publicacions Universitat D'Alacant.

- 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.
- MOZAS-CALVACHE, A. T., PÉREZ-GARCÍA, J. L., CARDENAL-ESCARCENA, F. J., MATA-CASTRO, E., DELGADO-GARCÍA, J. (2012). Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms. *Journal of Archaeological Science*, 39(2), 521-530.
- MUDGE, M., MALZBENDER, T., SCHROER, C., LUM, M. (2006). New Reflection Transformation Imaging Methods for Rock Art and Multiple-Viewpoint Display. *The 7th International Symposium on Virtual Reality Archaeology and Cultural Heritage VAST2006*, (July), 195–202.
- MUDGE, M., VOUTAZ, J.-P., SCHROER, C., LUM, M. (2005). Reflection Transformation Imaging and Virtual Representations of Coins from the Hospice of the Grand St. Bernard. En F. S. Dieter W. Fellner, Werner Hansmann, Werner Purgathofer (Ed.), *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage* (pp. 29-40). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Dimitrios_Buhalis/publication/220955241_Visitors'_Evaluations_of_ICTs_Used_in_Cultural_Heritage/links/02e7e52bde3efea535000000.pdf#page=29
- MURILLO SOTO, O. R. (2009). Lenguaje ritual de la montaña mito y religión prehispánica. En P. Luna, A. Montero y R. Junco (Eds.), *Las Aguas Celestiales. El Nevado de Toluca* (pp. 43-51). Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- NEX, F., REMONDINO, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied geomatics*, 6(1), 1-15.
- NIE, N. (1975). *SPSS: Statistical Package for the Social Sciences*. New York: McGraw-Hill.
- NOVELO LÓPEZ, A. (2009). EL Nevado de Toluca como un sitio arqueológico. En P. Luna, A. Montero y R. Junco (Eds.), *Las Aguas Celestiales. El Nevado de Toluca* (pp. 35-37). Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- OLSON, B., PLACCHETTI, R. (2015). A Discussion of the Analytical Benefits of Image Based Modeling in Archaeology. En B. Olson & W. Caraher (Eds.), *Visions of substance: 3D imaging in Mediterranean archaeology* (pp. 17-25). Grand Forks: The Digital Press at The University of North Dakota.
- OLSON, B. R. (2016). The Things We Can Do with Pictures: Image- Based Modeling and Archaeology. En *Mobilizing the Past for a Digital Future*. Recuperado de

http://dc.uwm.edu/arthist_mobilizingthepast

- OLSON, BRANDON, PLACCHETTI, R., QUARTERMAINE, J., KILLEBREW, A. (2013). The Tel Akko Total Archaeology Project (Akko, Israel): Assessing the suitability of multi-scale 3D field recording in archaeology. *Journal of Field Archaeology*, 38(3), 244-262.
- ORMEÑO VILLAJOS, S. (2006). *Teledetección Fundamental*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- ORTIZ AGUILÚ, J.J. (1986). La “alta tecnología” en arqueología usos y manipulación ideológica. *Boletín de Antropología Americana*, 14, 111-114.
- PACHECO, J. E., VEGA CÁRDENAS, A. (2017). ¿Es La Restauración Una Disciplina Patrimonial? Notas Acerca De Un Cambio De Paradigma. *Conserva*, 22, 7-21. Recuperado de http://www.sngp.cl/693/articles-85256_archivo_05.pdf
- PAPADOPOULOS, C., PALIOU, E., CHRYSANTHI, A., KOTOULA, E., SARRIS, A. (2015). Archaeological Research in the Digital Age. En *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Greek Chapter*. Rethymno: Institute for Mediterranean Studies – Foundation of Research and Technology.
- PEINADO ESPINOSA, M. V. (2013). Cerámica común bética de pastas calcáreas. En María Isabel Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 247-270). Roma: Quasar.
- PERAZA LOPE, C. (1996). Unidades ceramicas de San Gervasio, Cozumel, Quintana Roo, Mexico. *Mexicon*, 18(4), 67-70.
- PERDOMO, L., RINCÓN, R., SÁNCHEZ, M. (2014). Desafíos del marketing turístico en el entorno 2.0. *Marketing Visionario*, 2(2), 125-141.
- PEREIRA-UZAL, M. (2015). Alcance de la imagen multiespectral en el estudio de obras de arte : del dibujo subyacente a la clasificación de compuestos. *Conservación de Arte Contemporáneo. 16ª Jornada.*, 183-189.
- PEREIRA UZAL, J.M. (2013a). Digitalización y documentación del patrimonio: de la divulgación a la preservación. Una aproximación al control de calidad en la gestión del color. En *Conservación de Arte Contemporáneo* (pp. 55-65).
- PEREIRA UZAL, J.M. (2013b). Modelado 3D en patrimonio cultural por técnicas de structure from motion. *Ph Investigación (en línea)*, 1, 77-87. Recuperado de http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/12/33#.Vw_d4vmLRD8
- PEREIRA UZAL, J.M. (2016). 3D modelling in cultural heritage using structure from

- motion techniques. *PH investigación*, (6), 49-59. Recuperado de <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/4065#.XApZ782DNhE>
- PEREIRA UZAL, J.M. (2017). Nuevas perspectivas en la documentación gráfica de arte rupestre. *Kobie Serie Anejo*, 16(16), 41-50.
- PEREIRA UZAL, J.M. (2019). El control de calidad en los planes de digitalización. *revista PH*, (95), 63-67.
- PÉRINET, G., COURTOIS, L. (1983). Évaluation des températures de cuisson de céramiques et de vaisselles blanches néolithiques de Syrie. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 80(5), 157-160.
- PERROT, A., RANGEARD, D., PIERRE, A. (2016). Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 49(4), 1213-1220.
- PEUCKER, T. K., FOWLER, R. J., LITTLE, J., FRASER, S., MARK, D.M. (1978). The triangulated irregular network. In Proceedings of the Digital Terrain Models (DTM) Symposium. Falls Church: American Society of Photogrammetry.
- PICON, M. (1998). Les mesures, par dilatométrie, des températures de cuisson des céramiques de La Graufesenque: principes et applications. *Annales de Pegasus*, 3, 32-40.
- PIQUETTE, K. E. (2011). Reflectance Transformation Imaging (RTI) and Ancient Egyptian Culture. *Damqatum; The CEHAO Newsletter-El boletín de noticias del CEHAO*, 7, 16-20.
- PIX4D. (2011). *Pix4Dmapper* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <http://pix4d.com/>
- PIXOLOGIC. (1999). *Pixologic Zbrush* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <http://pixologic.com/>
- PRESNER, T., SCHNAPP, J., LUNENFELD, P. (2009). The Digital Humanities Manifesto. *Context*. Recuperado de <http://tcp.hypotheses.org/411>
- PUCCI, G. (1993). I bolli sulla terra sigillata: fra epigrafía e storia económica. *Journal of Roman Archaeology*, 6, 73-80.
- QUESADA MARTÍNEZ, E. (2010). Aplicación Dstretch del software Image-J . Avance de resultados en el Arte. *Cuadernos de Arte Rupestre*, 5, 15-35. Recuperado de http://www.museosdemurcia.com/rupestre/cuadernos/images/6/QuesadaCAR2008_6_2.pdf

- RAMIS, M. (2019). Sistema de transmisión de imágenes Bartlane. Recuperado de IDIS website: <https://proyectoidis.org/sistema-de-transmision-de-imagenes-bartlane/>
- REALITY, C. (2016). *Reality Capture* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.capturingreality.com/>
- REILLY, P. (1991). Towards a Virtual Archaeology. En S. Rahtz & K. Lockyear (Eds.), *CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990 (BAR International Series 565)* (pp. 132-139). Oxford: Tempus Reparatum.
- REMONDINO, F., NOCERINO, E., TOSCHI, I., MENNA, F. (2017). A critical review of automated photogrammetric processing of large datasets. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42, 591-599.
- REMONDINO, F., BARAZZETTI, L., SCAIONI, M., SARAZZI, D. (2011). UAV Photogrammetry for mapping and 3D Modeling. Current status and future perspectives. En *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (pp. 25-31). XXXVIII-1/C22.
- REMONDINO, F., BARAZZETTI, L., NEX, F., SCAIONI, M., SARAZZI, D. (2011). *Annals of Surgery 2009 Nguyen*. XXXVIII(September), 14-16.
- REMONDINO, FABIO, DEL PIZZO, S., KERSTEN, T., TROISI, S. (2012). Low-cost and open-source solutions for automated image orientation: a critical overview. *Progress in Cultural Heritage Preservation. Proceedings of the 4th International Conference, EuroMed 2012*, 40-54.
- REMONDINO, FABIO, NOCERINO, E., TOSCHI, I., MENNA, F. (2017). A critical review of automated photogrammetric processing of large datasets. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W5), 591-599. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-591-2017>
- RENFREW, C., & BAHN, P. (1991). *Archaeology: Theories, Methods and Practice*. London: Thames and Hudson Ltd.
- RENGIER, F., MEHNDIRATTA, A., VON TENGG-KOBLIGK, H., ZECHMANN, C. M., UNTERHINNINGHOFEN, R., KAUCZOR, H. U., GIESEL, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 5(4), 335-341.
- RICCIONI, G. (1972). *Problemi di archeologia gallo-romana I. La terra sigillata della Gallia meridionale*. Bologna: Cooperativa Libreria Universitaria Editrice.

- RICE, P. M. (2009). Late Classic Maya Pottery Production: Review and Synthesis. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 16(2), 117-156.
- ROBLES CASTELLANOS, J. F. (1990). *La secuencia cerámica de la región de Cobá, Quintana Roo. Colección Científica 184*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- ROCA ROUMENS, M. (1976): *Sigillata hispánica producida en Andújar*. Jaén: Instituto de Estudios Jienenses.
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, E., PASTOR, S. C., CASALS, J. R. (2019). Lost colours: Photogrammetry, image analysis using the DStretch plugin, and 3-D modelling of post-firing painted pottery from the south west Iberian Peninsula. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 13, 1-11.
- RODRIGUEZ NAVARRO, P. (2012). La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 17(20), 100-111.
- RODRÍGUEZ YUNTA, L. (2013). Humanidades digitales, ¿una mera etiqueta o un campo por el que deben apostar las ciencias de la documentación? *Anuario ThinkEPI*, 7, 37-43.
- ROJAS CASTRO, A. (2013). Las Humanidades Digitales: principios, valores y prácticas. *Janus*, 2, 74-99. Recuperado de <http://www.unav.edu/publicacion/biblioteca-aurea-digital/BIADIG-22%5Cnhttp://conference.ifla.org/past-wlic/2011/104-russell-es.pdf%5Cnhttp://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/002/1/000020.html%5Cnhttp://revistacaracteres.net/revista/vol2n2noviembre2013/el>
- ROJAS SANDOVAL, C., GONZÁLEZ GONZÁLEZ, A. (2006). *Informe Proyecto Atlas Arqueológico Subacuático para el Registro, Estudio y Protección de los Cenotes en la Península de Yucatán 2006*. Ciudad de México: INAH.
- ROMÁN GONZALEZ, M. (2016). *Códigoalfabetización y pensamiento computacional en Educación Primaria y Secundaria: validación de un instrumento y evaluación de programas*. Madrid: UNED. Recuperado de <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:Educacion-Mroman>
- ROMERO FRÍAS, E. (2014). Ciencias Sociales y Humanidades Digitales: una visión introductoria. En E. Romero Frías y M. Sánchez González (Eds.), *Ciencias Sociales y Humanidades Digitales. Técnicas, herramientas y experiencias de e-Research e investigación en colaboración*. CAC, Cuadernos Artesanos de Comunicación, 61 (p. 307). La Laguna: Drago.

- ROMERO FRÍAS, E., ROBINSON GARCÍA, N. (2017). Laboratorios sociales en universidades: Innovación e impacto en Medialab UGR. *Comunicar: Revista científica iberoamericana de comunicación y educación*, 51, 29-38.
- ROOSEDAAL, T. (1998). *Blender* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.blender.org/>
- ROSENTHAL, D. (2010). Format obsolescence: assessing the threat and the defenses. *Library Hi Tech*, 28(2), 195-210.
- ROSS, C. (2018). Social media for digital humanities and community engagement. En C. Warwick, M. Terras, & J. Nyhan (Eds.), *Digital Humanities in Practice* (pp. 23-46). <https://doi.org/10.29085/9781856049054.003>
- ROUCO COLLAZO, J., MARTÍN CIVANTOS, J. M., BENAVIDES LÓPEZ, J. A. (2018). Análisis arqueológico de la torre-puerta de la alcazaba de Guadix (Granada). *Arqueología de la Arquitectura*, 15, 1-31.
- RUIZ LÓPEZ, J. F. (2017). Nuevas tecnologías al servicio de la difusión y socialización del arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica. *Actas de las II Jornadas de Museos y Colecciones Museográficas Permanentes de la Comunidad Valenciana*, 38-53. l'Alfàs del Pi: Universitat d'Alacant.
- RUIZ MONTES, P. (2013a). Cerámicas tipo Peñafior. En Maria Isabel Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España*2 (pp. 155-162). Roma: Quasar.
- RUIZ MONTES, P. (2013b). Del barro al vaso: hornos y procedimientos de cocción. En María Isabel Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 75-90). Roma: Quasar.
- RUIZ MONTES, P. (2013c). Lucernas tipo Andújar. En María Isabel Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 293-300). Roma: Quasar.
- RUIZ MONTES, P. (2014). *Romanización y producción de cerámicas finas en las áreas periféricas de la provincia Bética: factores de implantación, comercio y desarrollo técnico en el suburbium artesanal de Isturgi Triumphale (Los Villares de Andújar, Jaén) (siglos I-II d.n.e)*. BAR. Oxford: BAR Publishing.
- RUIZ MONTES, P., MORENO ALCAIDE, M. (2013). Cerámica de paredes finas. En María Isabel Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 173-180). Roma: Quasar.

- RUIZ MONTES, P., PEINADO ESPINOSA, M. V. (2013). Cerámica pintada de tradición ibérica. En María Isabel Fernández García (Ed.), *Una aproximación a Isturgi romana: El complejo alfarero de Los Villares de Andújar, Jaén España* (pp. 163-172). Roma: Quasar.
- SABLATNIG, R., & MENARD, C. (1997). 3D Reconstruction of Archaeological Pottery using Profile Primitives. *International Workshop on SyntheticNatural Hybrid Coding and ThreeDimensional Imaging*.
- SAHAGÚN, F. B. de. (1985). *Historia General de las Cosas de Nueva España. 4 Volúmenes* (Á. M. Garibay, Ed.). Ciudad de México: Porrúa.
- SÁNCHEZ CLIMENT, Á., CERDEÑO SERRANO, M. L. (2014). Propuesta metodológica para el estudio volumétrico de cerámica arqueológica a través de programas free-software de edición 3D: el caso de las necrópolis celtibéricas del área meseteña. *Virtual Archaeology Review*, 5(11), 20-33. <https://doi.org/10.4995/var.2014.4173>
- SAORÍN, J. L., MEIER, C., DE LA TORRE-CANTERO, J., CARBONELL-CARRERA, C., MELIÁN-DÍAZ, D., BONNET DE LEÓN, A. (2017). Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D. *Edmetic*, 6(2), 27.
- SCANVIC, J.-Y. (1989). *Teledetección Aplicada: cartografía, geología estructural, explotación minera, medio ambiente, etc.* Madrid: Parainfo.
- SCHADLA-HALL, T. (1999). Editorial: Public Archaeology. *European Journal of Archaeology*, 2(2), 147-158.
- SCHNEIDER, C., RASBAND, W., & ELICEIRI, K. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671-675.
- SCHÖNBERGER, J. L. (2018). *Robust Methods for Accurate and Efficient 3D Modeling from Unstructured Imagery*. Recuperado de <https://colmap.github.io/bibliography.html>
- SCHÖNBERGER, J. L., FRAHM, J. M. (2016). Structure-from-motion revisited. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 4104-4113). Las Vegas: IEEE.
- SCHREIBMAN, S., SIEMENS, R., & UNSWORTH, J. (2004). *A Companion to Digital Humanities*. Nueva Jersey: Blackwell Publishing. Recuperado de: <http://www.digitalhumanities.org/companion/>
- SEAV, FIAV. (2011). *Principios de Sevilla*. 10. Recuperado de <http://smartheritage.com/wp-content/uploads/2016/06/PRINCIPIOS-DE-SEVILLA.pdf>

- SELWYN, N. (2013). *Education in a Digital World: Global Perspectives on Technology and Education*. New York: Routledge.
- SERNA, J. DE LA. (1892). *Manual de Ministros de indios, para el conocimiento de sus idolatrías y extirpación de ellas*. (1892.^a ed.). Recuperado de https://mexicana.cultura.gob.mx/en/repositorio/detalle?id=_suri:MEDIATECAARTICULO:TransObject:5bca29f77a8a0222ef131fe4&word=conocimiento,&r=5&t=269
- SERRANO ARNÁEZ, B., FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. I., ESQUIVEL GUERRERO, J. A. (2013). Hacia una reconstrucción tridimensional de la terra sigillata hispánica decorada y los moldes del alfar Los Villares de Andújar (Jaén). *Virtual Archaeology Review*, 4(9), 100-107.
- SERRANO ARNÁEZ, B. (2016). *Estructuras humanas y económicas de producción de la Terra Sigillata Hispánica: Los productores de moldes (tesis doctoral)*. Granada: Universidad de Granada.
- SETTIS, S. (2007). *L'assalto al Patrimonio Culturale*. Piccola Biblioteca Einaudi.
- SHULMAN, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-23.
- SIRE, M.A. (1996). *La France du Patrimoine. Les choix de la mémoire*. Paris: Découvertes Gallimard.
- SKETCHFAB. (2012). *Sketchfab* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://sketchfab.com/feed>
- SLAMA, C. (1980). *Manual of Photogrammetry*. Falls Church: American Society of Photogrammetry.
- SONY (1999). *Vegas Pro* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.vegascreativesoftware.com/mx/vegas-pro/>
- SOTOMAYOR MURO, M. (1973). Centro de producción de sigillata de Andújar (Jaén). En *XII Congreso Nacional de Arqueología (Jaén, 1971)* (pp. 689-698). Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- SOTOMAYOR MURO, M., ROCA ROUMENS, M., SOTOMAYOR, N. (1979). Los alfares romanos de Andújar. Campañas de 1974, 1975 y 1977. *Noticiero Arqueológico Hispánico*, 6, 443-497.
- SOTOMAYOR MURO, M. (1988). Fondos de sigillata de Andalucía con marcas interiores de entalles. *Anejos de Gerion*, 1, 253-262.

- SOTOMAYOR, M., ROCA, M. y FERNÁNDEZ-GARCÍA, M.^a I. (1999). Centro de producción de Los Villares de Andújar (Jaén). En M. Roca Roumens, M.^a.I. Fernández-García (Coords.), *Terra Sigillata Hispánica. Centros de fabricación y producciones altoimperiales* (pp. 19-60). Jaén: Universidad de Jaén y Universidad de Málaga.
- SOTO VILLALPANDO, A., SEGURA PÉREZ, M., GUZMÁN TORRES, J. (en prensa). Fotogrametría subacuática y realidad aumentada aplicada en el pecio El Ángel, Banco Chinchorro, Quintana Roo. *IV Congreso Internacional El Patrimonio Cultural y las Nuevas Tecnologías*. Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.
- SPRAJC, I. (2001). *Orientaciones astronómicas en la arquitectura prehispánica del centro de México. Colección Científica 427*. Ciudad de México: Conaculta (INAH).
- STANCO, F., BATTIATO, S., GALLO, G. (2011). *Digital imaging for cultural heritage preservation: Analysis, restoration, and reconstruction of ancient artworks*. Boca Ratón: CRC Press.
- STEK, T. D. (2016). Drones over Mediterranean landscapes. The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in archaeological survey projects: A case study from Le Pianelle in the Tappino Valley, Molise (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 22, 1066-1071.
- SUÁREZ PAREYÓN, L., KRIEBEL RODRÍGUEZ, A. (2004). *Informe de los Trabajos Realizados a Piezas de Contexto Subacuático Procedentes de Canún, Yucatán*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Subdirección de Arqueología Subacuática.
- SUGIURA, Y. (2009). Lo que nos cuenta la cerámica acerca de la singular importancia del Nevado de Toluca. En P. Luna, A. Montero, & R. Junco (Eds.), *Las Aguas Celestiales. El Nevado de Toluca* (pp. 38-41). Ciudad de México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- SVENSSON, P. (2009). Humanities Computing as Digital Humanities. *Digital Humanities Quarterly*, 3(3), en línea. Recuperado de <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/3/3/000065/000065.html>
- SYSTEMS (2015). *Contex Capture* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.bentley.com/es/about-us>
- SZELISKI, R. (2011). *Computer Vision: Algorithms and Applications*.
- TABALES RODRÍGUEZ, M.A., RAMÍREZ DE ARELLANO AGUDO, A. (2016). Noticia: arqueología y construcción. Una propuesta para la docencia técnica. *Arqueología de la Arquitectura*, (3), 199-203.
- TEJADO SEBASTIÁN, J. M. (2005). Escaneado En 3D Y Prototipado De Piezas

- Arqueológicas: Las Nuevas Tecnologías En El Registro, Conservación Y Difusión Del Patrimonio Arqueológico. *Iberia. Revista de la Antigüedad*, 8, 135-158. Recuperado de <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/iberia/article/view/303/285>
- TERRAS, M., NYHAN, J., VANHOUTTE, E. (2013). *Defining Digital Humanities*. New York: Ashgate Publishing.
- TORREGROSA-FUENTES, D., SPAIRANI BERRIO, Y., HUESCA TORTOSA, J. A., CUEVAS GONZÁLEZ, J., TORREGROSA-FUENTES, A. J. (2018). Aplicación de la fotogrametría automatizada y de técnicas de iluminación con herramientas SIG para la visualización y el análisis de una piedra con relieves antropomorfos. *Virtual Archaeology Review*, 9(19), 114-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/var.2018.9531>
- TORROJA I MIRET, J. M. (1913). El estereoautógrafo de E. von Orel. *Arxius de l'Institut de Ciències*, 2(1), 54-102.
- TRIGGS, B., MCLAUCHLAN, P., HARTLEY, R., FITZGIBBON, A., SYNTHESIS, A M., TRIGGS, B., ... INTERNATIONAL, R. S. (2000). Bundle Adjustment – A Modern Synthesis. *International Workshop on Vision Algorithms, Sep 2000, Corfu, Greece*, 298-372.
- TRIMBLE (2016). *Inpho* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/inpho>
- TUMELIENE, E., NAREIKO, V., SUZIEDELYTE VISOCKIENE, J. (2017). Photogrammetric Measurements of Heritage Objects. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(5W1), 71-76.
- TUROW, J., TSUI, L. (2008). *The Hyperlinked Society: Questioning Connections in the Digital Age*. University of Michigan Press.
- ULTIMAKER (2011). *Ultimaker Cura* (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://ultimaker.com/>
- U.E. (2000). Hacia una estrategia europea sobre conservación preventiva. En *Hacia una Estrategia Europea sobre Conservación Preventiva. Adoptada en la reunión de Vantaa 21-22 septiembre 2000*. Recuperado de <http://ge-iic.com/files/grupoconservacionpre/RESOLUCIONDEVANTA.pdf>
- UNESCO (1954). *Convención de la haya, 1954*.
- UNESCO (1973). *Actas Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural 1972*.

- UNESCO (1999). *Segundo Protocolo de la Convención de la Haya de 1954 para la Protección de los Bienes Culturales en caso de Conflicto Armado, La Haya, 26 de marzo de 1999*. La Haya.
- UNESCO (2002a). *Declaración de Budapest sobre el Patrimonio Mundial*.
- UNESCO (2002b). *Declaración de Budapest sobre la Universalidad*. Budapest.
- UNESCO. (2003). *Records of the General Conference, 32nd session, Paris, 29 September to 17 October 2003, v. 1: Resolutions*. París.
- UNESCO, & ICOMOS. (2000). *Carta de Cracovia, principios para la conservación y restauración del patrimonio construido*. Cracovia.
- VAN ROSSUM, G. (1995). *Python Tutorial. Centrum voor Wiskunde en Informatica REPORTRAPPORT CS-R9526*. Amsterdam: Stichting Mathematisch Centrum.
- VAN ROSSUM, G. (2007). Python programming language. *USENIX Annual Technical Conference*, 20-26. Santa Clara: Google Inc.
- VARELA TORRECILLA, C. (1993). El complejo cerámico Motul en el occidente de Yucatán y la transición a la cerámica Pizarra. En M. J. Iglesias Ponce de León & F. Ligorred Perramon (Eds.), *Perspectivas Antropológicas en el Mundo Maya* (pp. 253-268). Girona: Sociedad Española de Estudios Mayas.
- VARELA TORRECILLA, C., LECLAIRE, A. (1999). Enigmas cerámicos: análisis petrográfico de la cerámica pizarra de Oxkintok, Yucatán, México. *Revista Española de Antropología Americana*, 29, 101-129.
- VÁZQUEZ MARTÍNEZ, A., VILAS ESTÉVEZ, B., CARRERO PAZOS, M. (2015). Sobre as técnicas de reproducción dos gravados rupestres galaicos ao aire libre. *Férvedes: Revista de Investigación*, 8, (January), 17-24.
- VERTET, H. (1976). Les poinçons-matrices de sigillée du Musée de Moulins. Problèmes techniques -- catalogue. *Figlina*, 1, 97-142.
- VICENT GARCIA, J. M., MONTERO RUÍZ, I., RODRÍGUEZ ALCALDE, Á., MARTÍNEZ NAVARRETE, I., CHAPA BRUNET, T. (1996). *Aplicación De La Imagen Multiespectral Al Estudio Y Conservación Del Arte Rupestre Postpaleolítico the Use of Multiband Imaging for the Study and Preservation of Post-Paleolithic Rock Art*. 53(2), 19-35.
- VICO TRIGUERO, L., MOLINA GONZÁLEZ, F., CÁMARA SERRANO, J. A., GÁMIZ CARO, J. (2018). Estudio tecno-tipológico de las cerámicas del Cobre Reciente de los Castillejos (Montefrío, Granada). *Spal*, 27(2), 29-53.

- VIZÁN, J. A. (2017). *Morfometría craneofacial sobre ficheros DICOM. Aplicaciones en ciencias morfológicas, forenses y en cirugía reparadora*. Universidad Complutense de Madrid.
- WEBMAKER, M. (2019). Estándares de alfabetización web. Recuperado de [Documento en línea] website: <https://learning.mozilla.org/en-US/web-literacy/write/design/>
- WESTOBY, M. J., BRASINGTON, J., GLASSER, N. F., HAMBREY, M. J., REYNOLDS, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- WHEELER, M. (1955). *Still digging - Interleaves from an Antiquary's Notebook*. London: Michael Joseph.
- WILLIAMSON, A. (2015). Strategies for managing digital content formats. *Library Review*, 54(9), 508-513.
- WU, C., AGARWAL, S., CURLESS, B., SEITZ, S. M. (2011). Multicore bundle adjustment. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (1), 3057-3064. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2011.5995552>
- ZENNARO, M. (2013). The Role of Open Source Software and Hardware in the 3D Printing Revolution. En E. Canessa, C. Fonda, & M. Zennaro (Eds.), *Low-Cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development* (pp. 61-66). Trieste: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.
- ZHANG, D., LIANG, J., GUO, C., LIU, J.-W., ZHANG, X.-Q., CHEN, Z.-X. (2010). Exploitation of photogrammetry measurement system. *Optical Engineering*, 49(3), 122-128.
- ZHU, J., GUO, L., LIN, J., ZOU, J., & YE, S. (2010). Non-Intrusive Precise Measuring Method of Large Complex Surface. En *Guangxue Xuebao/Acta Optica Sinica* (Vol. 30).

8 ANEXOS

8.1 Índice de tablas y figuras por Capítulo

CAPÍTULO II

Figura 2.1. Cuadro Matriz de necesidades y satisfactores de Max Neef et al. (2008: 40).	17
Figura 2.2. Cuadro esquemático donde se señalan algunas de las principales técnicas de digitalización o reconstrucción 3D.	49

CAPÍTULO III

Figura 3.1. Cuadro titulado “Entrega de las llaves a San Pedro” de Pietro Perugino donde puede apreciarse la perspectiva artificialis. Extraído de: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Entrega_de_las_llaves_a_San_Pedro_(Perugin o).jpg [última visita: 20/10/2019].	59
Figura 3.2. Ilustración del fototeodolito diseñado y empleado por Aimé Laussedat para llevar a cabo algunos de sus levantamientos fotogramétricos (Laussedat, 1898: 1-508).	60
Figura 3.3. Fachadas levantadas por Laussedat en 1850 gracias a su sistema de levantamiento fotogramétrico (Granshaw, 2019: 132).	62
Figura 3.4. Estereocomparador de Pulfrich (Torroja, 1913: 63).	63
Figura 3.5. Estereoautógrafo diseñado por Von Orel (Torroja, 1913: 79).	64
Figura 3.6. Bucles de trabajo en un restituidor analítico (Albertz y Wiedemann, 1995: 862).	65
Figura 3.7. Diagrama de flujo de un Sistema Fotogramétrico Digital (Albertz y Wiedemann, 1995: 864).	67
Figura 3.8. Ejemplo del funcionamiento de la fotogrametría <i>Structure from Motion</i> y la obtención de puntos en común en diversas fotografías a través de algoritmos como el <i>Scale-invariant feature transform</i> (SIFT).	68

Figura 3.9. Modelo fotogramétrico realizado sobre un botón tipo trenca perforado en V procedente de la Cueva de Biniadris en Menorca (Altamirano y Alarcón, 2018: 113). A pesar de que el modelo tridimensional puede ser ampliado y reproducido en dimensiones mucho mayores, el tamaño del objeto original es muy reducido, tal y como se aprecia en las medidas tomadas en Agisoft Metashape.....	73
Figura 3.10. Grado de importancia que tiene la captura de fotografías a la hora de realizar un modelo fotogramétrico.	82
Figura 3.11. Cuestión de escala. Dependiendo del tamaño del objeto a digitalizar, se habrá de elegir el objetivo o la lente que mejor se adapte a este. Igualmente, la estrategia de captura variará ligeramente.....	83
Figura 3.12. Ficha de control usada de forma sistemática para durante la creación de un modelo fotogramétrico.	84
Figura 3.13. Equipo de fotografía e iluminación preparados para llevar a cabo la fotogrametría de laboratorio.	86
Figura 3.14. Valores de ajuste medios recomendados para la captura de un modelo fotogramétrico en laboratorio.	89
Figura 3.15. El solape entre fotografías resulta esencial para la elaboración de un modelo tridimensional. El montaje se realizó sobre el modelo 3D de un graffiti de la ciudad de Granada.	90
Figura 3.16. Sistema de alturas y grados de inclinación de cada uno de los círculos que componen un escaneado fotogramétrico estándar.....	91
Figura 3.17. Desglose del sistema de carpetas empleado para gestionar todos los archivos complementarios a los modelos fotogramétrico incluidos en la presente tesis doctoral.....	93
Figura 3.18. Fórmula para calcular la precisión esperada de un modelo 3D a partir de la calidad de las fotos que se emplean para construirlo (Tumeliene <i>et al.</i> , 2017: 73).	93
Figura 3.19. Montaje sobre una de las fotografías de una tricotería de hueso tallado (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117) localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada). En él se aprecia un degradado entre la parte de la máscara de capa (derecha) y la parte con el fondo original (izquierda).	95

Figura 3.20. Nube de puntos ligera, obtenida en Agisoft Metashape, de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).....	96
Figura 3.21. Nube de puntos densa, obtenida en Agisoft Metashape, de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).....	98
Figura 3.22. Malla digital, obtenida en Agisoft Metashape, de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).....	99
Figura 3.23. Modelo ya texturizado, obtenido en Agisoft Metashape, de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes (Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).....	100
Figura 3.24. Ortofotografía obtenida a partir del modelo fotogramétrico final del sector 2 de la excavación llevada a cabo en los Villares de Andújar (Jaén), durante la campaña 2018. Fotos realizadas por Manuel Moreno Alcaide, modelo fotogramétrico de elaboración propia.....	101
Figura 3.25. Comparativa de nubes de puntos llevada a cabo en CloudCompare sobre modelos fotogramétricos realizados en los dos programas principales empleados durante la confección de la tesis. Tras la comparación apenas se apreciaba diferencia entre las nubes de puntos obtenidas en ambos softwares. El color azul uniforme en el modelo de la izquierda indica la proximidad, y por tanto semejanza, entre la nube de puntos de Reality Capture y el modelo de puntos de Agisoft (derecha). El modelo fotogramétrico usado como ejemplo, es el de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes de Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117). ..	104
Figura 3.26. Comparativa de texturas de los modelos fotogramétricos realizados en los dos programas principales empleados durante la confección de la tesis. Tras la comparación se aprecia cierta superioridad de la textura generada por Agisoft Metashape. El modelo fotogramétrico usado como ejemplo, es el de la tricotería de hueso tallado localizada en el Cerro de los Infantes de Pinos Puente, Granada (Dorado, 2019: 348, fig. 7.117).....	106
Figura 3.27. Dianas (parte superior) desarrolladas por el autor durante la elaboración de la tesis para mejorar la alineación de algunos modelos fotogramétricos especialmente complejos. Renderizado en Blender donde se explica el funcionamiento de la misma.	107

Figura 3.28. Ventajas y desventajas del uso del formato RAW en fotogrametría.....	109
Figura 3.29. Modelo tridimensional del cráneo de una perra enana del siglo I d.C. descubierta en Córdoba. Tanto el cráneo como cada una de las mandíbulas fueron digitalizadas por separado, exportadas y recolocadas posteriormente mediante Blender (en la imagen).....	112
Figura 3.30. Renderizados obtenidos en Blender, sobre el modelo tridimensional del cráneo de una perra enana del siglo I d.C. descubierta en Córdoba, donde se desglosa el proceso de anastilosis, así como la reconstrucción de las partes faltantes.....	113
Figura 3.31. Creación en Agisoft Metashape del modelo tridimensional de una pesa de telar de época clásica procedente del municipio de Baza (Granada). El modelo tridimensional interactivo puede consultarse en el siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/pesa-telar-baza-12a83b9627f34e4f9d9758136779e90c [última visita: 23/10/2019].....	114
Figura 3.32. Diferentes pasos de la reconstrucción de una pesa de telar de época clásica procedente del municipio de Baza (Granada). El modelo tridimensional interactivo puede consultarse en el siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/pesa-telar-baza-12a83b9627f34e4f9d9758136779e90c [última visita: 23/10/2019].	114
Figura 3.33. Recreación del posible entorno en que se enmarcaría la pesa de telar de época clásica procedente del municipio de Baza (Granada).....	115
Figura 3.34. Propuesta reconstructiva con prótesis digital no mimética de una crátera de columnas recuperada en el término municipal de Baza (Granada). Del objeto en cuestión solo se conservaba la parte del soporte. Propuesta reconstructiva de una crátera de columnas recuperada en el término municipal de Baza (Granada). Del objeto en cuestión solo se conservaba la parte del soporte. El modelo tridimensional interactivo puede consultarse en el siguiente enlace: https://skfb.ly/6HBpH [última visita: 23/10/2019].	119
Figura 3.35. Modelo fotogramétrico integrado en una prótesis digital no mimética creada a partir de la topología reconstruida mediante la vectorización de una sección dibujada del molde de <i>terra sigillata</i> hispánica AJ4221.....	120
Figura 3.36. Secciones obtenidas en Blender a partir de tres cortes realizados en distintas partes del modelo fotogramétrico del molde de <i>terra sigillata</i> hispánica AJ4221. Este fue previamente triplicado, otra importante ventaja de trabajar con modelos digitales, su reproducibilidad.	121

Figura 3.37. Comparativa de las diferencias entre perfiles según la parte del modelo fotogramétrico donde se obtiene y extracción del perfil medio para recrear la forma del molde de terra sigillata hispánica AJ4221.	122
Figura 3.38. Diferentes renderizados de la pieza original (izquierda) junto a la reconstrucción con acabado mimético y recreación (derecha) de una lucerna de doble pico procedente del Cerro de la Mora (Moraleta de Zafayona, Granada). En la recreación se añadió el sistema portante y se reconstruyeron todas aquellas partes perdidas...	124
Figura 3.39. Comparativa entre una proyección en perspectiva (centro) y una proyección ortográfica (inferior). Ambas fueron tomadas con los objetos a la misma distancia. Se puede observar cómo en la proyección ortográfica se reduce considerablemente la distorsión en la forma de los objetos, a pesar de que estos se encuentran a diferente distancia de la cámara. Esto permite obtener imágenes sin apenas distorsión donde pueden obtenerse medidas de forma precisa.	127
Figura 3.40. Modelo fotogramétrico del molde de <i>terra sigillata</i> hispánica AJ1532 donde se aprecia la calidad de su malla geométrica, compuesta por casi 1.500.000 de caras y más de 700.000 vértices.	129
Figura 3.41. Cálculos volumétricos llevados a cabo a partir de las planimetrías previas (Calderón y Hermes, 2005: 113-128) de algunos de los chultunes mayas de los alrededores de la laguna Yaxha (Petén, Guatemala). El objetivo era conocer la cantidad de agua que este tipo de reservorios eran capaces de almacenar.	132
Figura 3.42. Comparativa entre los resultados obtenidos del cálculo volumétrico llevado a cabo en dos plataformas diferentes: Blender (superior) y Meshlab (inferior).	133
Figura 3.43. Interfaz de CloudCompare junto a dos nubes de puntos obtenidas de los modelos fotogramétricos de dos cuencos trípodes mayas procedentes de la Península de Yucatán (México).	137
Figura 3.44. Resultados obtenidos de la comparación de ambos trípodes En este caso las zonas con tonos más cercanos al azul indican una mayor semejanza con respecto al otro modelo. Por el contrario, cuanto más tiende al rojo mayor será la diferencia.	138
Figura 3.45. Superficie tridimensional donde se indica la dirección de sus vectores de normales (flechas en rojo). Recuperado de: http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/Spanish/index.html [última consulta: 22/10/2019].	140

Figura 3.46. Trayectoria y comportamiento de la luz sobre una superficie tridimensional (flechas en amarillo). Dirección de los vectores normales (flechas en rojo). Recuperado de: http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/Spanish/index.html [última consulta: 23/10/2019].	141
Figura 3.47. Trayectoria y comportamiento de la luz (flechas en amarillo) y vectores normales (flechas en rojo) sobre una superficie bidimensional como la generada por un modelo interactivo de Reflectance Transformation Imaging. Recuperado de: http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/Spanish/index.html [última consulta: 22/10/2019].	142
Figura 3.48. Método tipo Domo de captura de imágenes para <i>Reflectance Transformation Imaging</i> . Este emplea una cúpula o domo compuesta por decenas de luces y cuyas posiciones y ángulo de incidencia son siempre las mismas y están recogidas por un dispositivo informático. Imagen obtenida de: (Dedík y Minaroviechh, 2017: 598).	143
Figura 3.49. Método tipo Highlight de captura de imágenes para Reflectance Transformation Imaging. Imagen obtenida de: Método tipo <i>Highlight</i> de captura de imágenes para <i>Reflectance Transformation Imaging</i> . Imagen obtenida de: (AA.VV., 2013: 9).	144
Figura 3.50. Infografía realizada por Gilewski (2015: 138) donde se detallan los diversos grados de inclinación y las diferentes direcciones en que ha de orientarse la fuente de luz durante la captura de Reflectance Transformation Imaging mediante el método Highlight.	145
Figura 3.51. Infografía realizada por Dellepiane <i>et al.</i> (2006: 185) donde se detalla el número de fotografías, así como los diversos grados de inclinación y direcciones en que ha de orientarse la fuente de luz durante la captura de <i>Reflectance Transformation Imaging</i> mediante el método Highlight para obtener un resultado de calidad. De entre las 5 variantes, los autores determinaron que el primer caso (compuesto por 105 fotografías) era con el que se obtenían los mejores resultados.	146
Figura 3.52. Creación de una cúpula digital en Blender (superior). Asignación de los 106 puntos de luz a cada uno de los vértices de la cúpula (inferior). Este proceso se realiza de forma automática.	149
Figura 3.53. En la parte superior, proceso de creación de las esferas metálicas. En la parte inferior, detalle del sistema de nodos empleado en Blender para dar una apariencia realista a la superficie metálica de ambas bolas. De esta forma, se consigue emular el comportamiento y reflexión de la luz en la superficie de las esferas.	150

Figura 3.54. Escenario de RTI virtual completo y adaptado a una pieza concreta. En este caso, el objeto utilizado como prueba fue el molde de los Villares de Andújar AJ1532.	152
Figura 3.55. Línea de comandos desarrollada por el autor en lenguaje Python y compatible con la versión 2.79 de Blender. Empleándolo, permite automatizar el proceso de captura de los renderizados para la posterior elaboración del modelo de <i>Reflectance Transformation Imaging</i>	153
Figura 3.56. Ubicación y distribución del sistema de carpetas necesario para un proyecto de <i>Reflectance Transformation Imaging</i>	154
Figura 3.57. Ejemplo de cómo cargar un grupo de fotos en RTIBuilder para generar un modelo de <i>Reflectance Transformation Imaging</i>	155
Figura 3.58. Delimitación del área de las esferas en RTIBuilder. En primer lugar, se esboza la zona de cada esfera mediante dos recuadros (superior) y por último se afina el área circular (inferior). Gracias a esto el programa puede detectar la procedencia de la fuente de luz en cada una de las imágenes cargadas.	156
Figura 3.59. Detección automática del origen de los puntos de luz de cada imagen. En esta figura se puede observar también como el sistema de nodos de Blender funciona a la perfección, ya que el <i>software</i> detecta sin problema el ángulo y la dirección de la luz en las esferas metálicas.	157
Figura 3.60. Parte final del proceso de creación de un modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) a partir de RTIBuilder. Aquí se puede delimitar el área de visualizado del modelo.	157
Figura 3.61. TIVIEWER, es el <i>software</i> que nos permite visualizar el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> creado en RTIBuilder.	158
Figura 3.62. Distribución UV (A.) del modelo con retopología de la lucerna de doble pico procedente del Cerro de la Mora, Moraleda de Zafayona (Granada). Error al aplicar la textura del modelo original sobre el modelo con retopología donde la disposición de esta no concuerda con el cuerpo tridimensional (B.). Modelo correcto donde se ha llevado a cabo el remapeado de las texturas (C.).	160
Figura 3.63. Comparativa entre la disposición de la textura y el mapa UV original de un modelo fotogramétrico (A. y B.) y los obtenida mediante retopología (C. y D.). Como puede apreciarse, a nivel visual las diferencias en los modelos finales son prácticamente imperceptibles.	161

Figura 3.64. Algunos de los diferentes mapas de texturas que existen. Mapa de albedo o color (A.), mapa de normales (B.), mapa de oclusión ambiental (C.) y mapa de aspereza o brillo (D.).	162
Figura 3.65. Dirección de las normales de la Lucerna. Ver también figura 3.45.	163
Figura 3.66. Sistema nodos empleado para llevar a cabo el bakeado de los mapas de texturas de un modelo fotogramétrico cara a su optimización, y como parte del proceso de retopología.	164
Figura 3.67. Modelo sin texturizar de la lucerna del Cerro de la Mora (A.), modelo lowpoly sin retopología (C.), con retopología (B.) y con los mapas de texturas exagerados para resaltar los detalles de su superficie (D.).	165
Figura 3.68. Recreación del Aljibe exterior del Castillejo de Órgiva (Granada, España) a partir del modelo tridimensional obtenido mediante un dron.	168
Figura 3.69. Piezas obtenidas del aljibe, cortadas y procesadas en Blender para la posterior aplicación del RTI virtual (inferior).	169
Figura 3.70. RTI Virtual llevado a cabo dos años después de la realización del modelo fotogramétrico de la estela N°2 del yacimiento maya de Edzná (Campeche, México). En la imagen se pueden apreciar capturas de algunos de los principales modos de visualización de RTIViewer.	172
Figura 3.71. Modelo fotogramétrico de la estela Asiria del Palacio de Nimrud (Iraq), destruida en 2015 por la organización terrorista ISIS. Captura realizada en la página de visualización online Sketchfab (disponible en: https://sketchfab.com/3d-models/assyrian-stele-from-nimruds-palace-15f54e59d09d49e7b43e9886d10ed1a2 [última visita:06/08/19]).	173
Figura 3.72. En la imagen dos variantes de Modelo Digital de Elevaciones obtenidas en el <i>software</i> fotogramétrico Agisoft Metashape a partir de un modelo fotogramétrico realizado con dron sobre la estructura del “Bastión” del yacimiento de Cerro de la Encina (Monachil, Granada). En este caso el modelo se encuentra perfectamente georreferenciado y, por tanto, las medidas referentes a la cota de altura y la ubicación son exactas.	175
Figura 3.73. Comparativa entre las ortofotografías y los DEM obtenidos en Agisoft Metashape y Reality Capture. En la parte izquierda ortomosaico (superior) y DEM (inferior) obtenidos en Agisoft Metashape a partir de un modelo fotogramétrico de la estructura El Castillo, en el yacimiento maya de Chichen Itzá (Yucatán, México). En la	

parte derecha ortomosaico (superior) y DEM (inferior) obtenidos, en este caso, en el <i>software</i> Reality Capture.	176
Figura 3.74. Ortofotografía (izquierda) y Modelo Digital de Elevaciones (derecha) obtenidos en el <i>software</i> fotogramétrico Agisoft Metashape del modelo fotogramétrico del paramento 3 durante una intervención de urgencia en el Nº 4 del Paseo Padre Manjón (Granada).	177
Figura 3.75. Ortofotografía (izquierda) y Modelo Digital de Elevaciones (derecha) llevado a cabo en el <i>software</i> fotogramétrico Agisoft Metashape sobre el modelo fotogramétrico de la estela Nº 2 del yacimiento maya de Edzná (Campeche, México).	178
Figura 3.76. Primera imagen digital ya decodificada enviada desde Londres a Nueva York en 1921 (parte superior). Muestras de la cinta Baudot que codificaba la información para para transmitir imágenes por sistema Bartlane (parte inferior). Montaje propio a partir de las fotografías extraídas online (Ramis, 2019: en línea).	179
Figura 3.77. Transmisor Bartlane (Ramis, 2019: en línea).....	180
Figura 3.78. Estructura de una imagen digital de mapa de bits, compuesta por miles de píxeles, las unidades mínimas de visualización que componen este tipo de archivos digitales.....	181
Figura 3.79. Desglose de los archivos que componen el formato .obj. Mapa de texturas (izquierda), modelo tridimensional (derecha) y archivo .mtl que pone en relación ambos (centro).	183
Figura 3.80. Esquema que ejemplifica la correlación y decorrelación de las variables a través de nubes de puntos (Quesada, 2010: 16).....	186
Figura 3.81. Espacios de color YDS, YUV y LYE aplicados sobre fragmentos cerámicos del Bronce Final del Sudeste con decoración pintada muy deteriorada (Dorado, 2018: 12).	187
Figura 3.82. Proyecto de Agisoft Metashape de la réplica fotogramétrica de una azurita con un filtro de Dstretch ya aplicado (inferior). Proyecto de Agisoft Metashape original (superior).	190
Figura 3.83. Algunos de los espacios de color predefinidos que incorpora el pluging Dstretch de ImageJ.	192
Figura 3.84. Renderizados obtenidos en Blender tras la aplicación del filtro LRE de Dstretch sobre el modelo fotogramétrico de un fragmento cerámico del Bronce Final del	

Sudeste con decoración pintada pero muy deteriorada. Pieza original (superior) y pieza modificada (inferior) donde se aprecia claramente el realce de los pigmentos rojizos.	194
Figura 3.85. Proceso de creación de una réplica tiflológica en Blender. A partir del modelo tridimensional tratado con Dstretch, resulta mucho más sencillo extender los apliques o resaltes que darán relieve a la decoración pintada del fragmento cerámico del Bronce Final del Sudeste.	195
Figura 3.86. Ortofotografía obtenida a partir del modelo fotogramétrico del sector 1 del yacimiento de los Villares de Andújar (Campaña 2018). Fotografías realizadas por Pablo Ruiz Montes, elaboración del modelo fotogramétrico propia.....	197
Figura 3.87. Ortofotografía realizada a partir del modelo fotogramétrico del sector 1 del yacimiento de los Villares de Andújar (Campaña 2018). El modelo fotogramétrico fue previamente seccionado para obtener el perfil de la estructura muraria interna (izquierda). Modelo Digital de Elevaciones llevado a cabo sobre la sección para comprender mejor su disposición (derecha).	198
Figura 3.88. Modelo fotogramétrico de un sillar de piedra documentado durante una prospección arqueológica en Alhama de Granada (parte superior). Modelo Digital de Elevaciones (DEM) realizado a partir de dicho modelo (parte inferior).	200
Figura 3.89. Modelo fotogramétrico realizado durante la excavación del pecio El Ángel, en Banco Chinchorro, en el caribe mexicano. La intervención fue llevada a cabo por la Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México (Soto et al., s. f.). El modelo puede visualizarse en la plataforma de visualización online Sketchfab (disponible es: https://sketchfab.com/3d-models/pecio-el-angel-banco-chinchorro-5b46a3359bbd44c4828a408beead9511 [última visita: 25/07/19]).	201
Figura 3.90. Modelo fotogramétrico realizado durante una intervención de urgencia llevada a cabo en una vivienda a reformar en el Paseo del Padre Manjón (Granada).202	
Figura 3.91. Número de usuarios de teléfonos inteligentes a nivel mundial 2014-2019 (en millones). (Extraído de: https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial--2019/ [última visita: 29/07/19]).	207
Figura 3.92. Porcentaje de uso de los teléfonos inteligentes en España entre 2014-2019., en comparación con otros dispositivos electrónicos. (Extraído de: https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial--2019/ [última visita: 29/07/19]).	208

Figura 3.93. Propuesta de musealización virtual con piezas fotogramétricas reales recreado mediante Blender.....	209
Figura 3.94. Captura del Google Street View en el Museo Británico (disponible en: https://www.google.co.uk/maps/@51.5191138,-0.1266662,2a,75y,325.79h,112.03t/data=!3m6!1e1!3m4!1s8DqI3blmb7tmDj62GnKV7Q!2e0!7i13312!8i6656?hl=en [última visita: 27/07/19]).	210
Figura 3.95. Renderizado a partir del modelo fotogramétrico optimizado realizado sobre el Caño Wamba (Alhama de Granada, Granada). El modelo tridimensional puede ser consultado de forma completa escaneando con nuestro smartphone el código QR situado en la esquina inferior derecha. Esto puede hacerse descargando la app gratuita de “Lector de Código QR” de Green Apple Studio o alguna otra similar. Este tipo de aplicaciones están disponibles en la AppStore o Play Store. También puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/cano-wamba-8f7b4cba279c40749f073e147669403c [última visita: 22/10/2019].	211
Figura 3.96. Renderizado a partir del modelo fotogramétrico optimizado realizado sobre el Escudo de Carlos I que hay adosado a la parte trasera de la sacristía de la Iglesia de la Encarnación. Además de mediante el código QR inserto, el modelo 3D también puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/escudo-fuente-plaza-de-los-presos-0a89ee7124ed4cff957f1aecd2954ccc [última visita: 22/10/2019].	212
Figura 3.97. Desarrollo y generalización de las nuevas tecnologías según el informe Horizon (Adams <i>et al.</i> , 2016: 2).	214
Figura 3.98. Tabla donde se desglosan los tiempos y el precio que supone la impresión de réplicas en plástico de diversos modelos fotogramétricos.	216
Figura 3.99. Laminado o <i>slicing</i> del modelo tridimensional ya reconstruido de la lucerna de doble pico procedente del Cerro de la Mora (Moraleta de Zafayona, Granada)...	217
Figura 3.100. Colección de figurillas cerámicas procedentes del Nevado de Toluca (Estado de México, México) y una bola sonajera cerámica del sitio arqueológico de la Media Luna (San Luis de Potosí, México). Colección digitalizada en la Subdirección de Arqueología Subacuática de Ciudad de México y posteriormente impresas en Granada.	219
Figura 3.101. Montaje donde se describen los pasos seguidos para obtener la réplica tiflológica. Renderizado normal de la pieza elegida obtenido mediante Blender y con una proyección ortográfica (A.). Renderizado del modelo con el mapa de texturas analizado	

mediante Dstretch (B.), con lo que se resaltan mejor las pigmentaciones. Sendos renderizados con los apliques tiflológicos sobre textura normal (D.) y textura manipulada por Dstretch (C.). 222

Figura 3.102. Proceso de laminado en Ultimaker Cura de la réplica tiflológica del fragmento de la fuente cerámica del Bronce..... 223

Figura 3.103. Modelo impreso de la fuente cerámica del Bronce con los motivos decorativos resaltados. 224

Figura 3.104. Participantes durante una de las sesiones del I Curso de Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Digitalización, Estudio y Análisis Espacial del Registro Arqueológico (Abelleira, Maldonado y Martín, 2018). 226

Figura 3.105. Estadísticas obtenidas en el II Curso Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Digitalización, Estudio y Análisis Espacial del Registro Arqueológico celebrado en la Universidad de Valladolid del 11 al 15 de noviembre de 2019, tras la realización de un cuestionario final entre los alumnos asistentes..... 227

Figura 3.106. Gráficos donde se muestran algunos de los resultados obtenidos al realizar un test de conocimientos iniciales durante el transcurso del curso 2018-2019 en las asignaturas de Arqueología de Grecia y Roma y Arqueología del Mundo Clásico. Ambas en los grados de Arqueología y de Historia de la Universidad de Granada. El número total de alumnos que realizaron este test, y a través del cual se han trazado los porcentajes, fue de 95 entre ambos cursos. 228

Figura 3.107. Niños corriendo frente al *laboratory school* fundado por John Dewey hacia el año 1900. Cortesía de las Colecciones Especiales. Centro de Investigación, Biblioteca de la Universidad de Chicago (Durst, 2010: 1). 231

Figura 3.108. Grupo de alumnas y alumnos grado de Arqueología de la Universidad de Granada realizando prácticas de fotogrametría integradas dentro del proyecto medialab UGR “*Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)*”. 233

CAPÍTULO IV

Figura 4.1. Principales complejos alfareros productores de *terra sigillata* que han sido identificados en el territorio que ocupaba la antigua provincia romana de la *Baetica* (Elaboración propia a partir de Fernández-García, 2012: 381)..... 238

Figura 4.2. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas de moldes de <i>terra sigillata</i> hispánica que conforman del conjunto.	244
Figura 4.3. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N°1 (C182) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/4fe54bc4013e4f16ab4109b2bb56a2c6 [última visita: 26/10/19]).....	246
Figura 4.4. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 2 (AJ23256) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/b85a0769f6104aef9ead0c8cf2862d7d [última visita: 26/10/19]).....	247
Figura 4.5. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 3 (AJ6019) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/eca25d4c09e24ce68e509e6b6ed734a5 [última visita: 26/10/19]).....	248
Figura 4.6. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 4 (AJ20282) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/52eb65cf4f704abc899c67cb32f237d2 [última visita: 26/10/19]).....	249
Figura 4.7. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N°5 (AJ3521) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/4a2184fcae1740f4830638f94cdea6b2 [última visita: 26/10/19]).....	250
Figura 4.8. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 6 (AJ71091) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/c8249c3b61254a6994ce0083eb8d7b43 [última visita: 26/10/19]).....	251
Figura 4.9. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 7 (AJ2316) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente	

enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/dc6a8ba413aa4f0b90a1fa0378c8ebb5>
[última visita: 26/10/19])..... 253

Figura 4.10. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 8 (AJ20452) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/e61292af7ce4447cb23b7eaf5d56f2b4> [última visita: 26/10/19]). 254

Figura 4.11. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 9 (AJ81471) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/4920f289615b494599b4427e8b63b717> [última visita: 26/10/19]). 255

Figura 4.12. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 10 (AJ2336) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/cf090713d1254f9d87a61bb67d5185c4> [última visita: 26/10/19]). 256

Figura 4.13. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 11 (AJ4221) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/0347b22da79940ae9f00868670bba8d9> [última visita: 26/10/19]). 257

Figura 4.14. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 12 (AJ7562) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/b70380cad1f64ba7a331148093d5df45> [última visita: 26/10/19]). 258

Figura 4.15. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 13 (AJ21111) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/pieza-13-molde-aj21111-c8224be86d594a6692d225e538ebed4f> [última visita: 26/10/19]). 259

Figura 4.16. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 14 (AJ1532) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a

través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c809683ab9a647caa65a7613d2bc6f4d> [última visita: 26/10/19]). 260

Figura 4.17. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 15 (AJ2327) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d0045e753c7c44db9153bed872d775de> [última visita: 26/10/19]). 261

Figura 4.18. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 16 (AJ81333) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/90dcdb46340d4a5b8b7528cf371b7e9a> [última visita: 26/10/19]). 262

Figura 4.19. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 17 (AJ2443) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c78d9e2a0a0f4f4eb09d0f536415e453> [última visita: 26/10/19]). 263

Figura 4.20. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 18 (AJ70667) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/8054b714a0474fe287c11ed67040b0eb> [última visita: 26/10/19]). 264

Figura 4.21. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 19 (AJ20102) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d58a710a284b4881b58e0298892bc438> [última visita: 26/10/19]). 265

Figura 4.22. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 20 (AJ81021) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/24e61db161d54c6e995b59fac9eb92f7> [última visita: 26/10/19]). 266

Figura 4.23. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 21 (AJ9086) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a

través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/628fa4239bf24edba2e48a7e2e75c> [última visita: 26/10/19])..... 267

Figura 4.24. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 22 (AJ20152) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/e7911cdbac21405db1b9a6f8efb9fbac> [última visita: 26/10/19])..... 268

Figura 4.25. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 23 (AJ20101) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace <https://sketchfab.com/3d-models/0f4a86e0d38f43d19930e6bc0af632a0> [última visita: 26/10/19]). 269

Figura 4.26. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 24 (AJ20324) procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/c8402bf79ee84a2fa5023fd2fd1fb81e> [última visita: 26/10/19])..... 270

Figura 4.27. Comparación en el *software* CloudCompare del grado de semejanza entre el modelo fotogramétrico del molde AJ71091 (forma en color) y su forma reconstruida (forma gris) a partir de sus perfiles corregidos. La tendencia hacia la gama cromática fría, hace referencia a aquellas partes en las que existe un mayor parecido entre ambas formas. Por el contrario, los colores de tonos cálidos indican una mayor disparidad. 271

Figura 4.28. Desglose de la cantidad estimadas de arcilla que era necesaria para la producción de cada uno de los moldes digitalizados..... 272

Figura 4.29. Desglose del procedimiento de aplicación del modificador *solidify* para la reconstrucción de la posible pieza procedente del molde de *terra sigillata* hispánica. A partir del ejemplo del molde AJ4221. 274

Figura 4.30. Doble comprobación de la capacidad volumétrica de la pieza obtenida del molde AJ4221. En la parte superior, cálculo digital llevado a cabo en Blender. En la parte inferior cálculo llevado a cabo en Meshlab. En ambos casos la cantidad arrojada por los *softwares* es de 942 cm³. 275

Figura 4.31. Desglose de la cantidad estimadas de arcilla que era necesaria para la producción de cada una de las piezas que se podrían haber obtenido de los moldes digitalizados..... 276

Figura 4.32. Desglose de la capacidad volumétrica de cada uno de los moldes digitalizados.....	277
Figura 4.33. Desglose de la capacidad volumétrica de cada una de las piezas obtenidas de los moldes digitalizados.....	278
Figura 4.34. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas de <i>terra sigillata</i> hispánica que conforman del conjunto.....	279
Figura 4.35. Representación hipotética de la posible estructura de los punzones empleados para rubricar la <i>terra sigillata</i> (Fernández, 1999: 39).....	282
Figura 4.36. Hipótesis reconstructiva del punzón que pudo usarse para rubricar la pieza de <i>terra sigillata</i> hispánica AJ9089 procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). La recreación fue llevada a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico realizado sobre la pieza real siguiendo la dinámica metodológica que se desglosará en las líneas sucesivas.	283
Figura 4.37. Creación de un modelo de alta resolución geométrica a partir de la combinación de dos <i>chunks</i> o bloques procesados independientemente en Agisoft Metashape.	285
Figura 4.38. Proceso de bakeado realizado sobre una de las <i>terrae sigillatae</i> hispánicas recuperadas de los Villares de Andújar (Jaén, España) para obtener un mapa de Oclusión Ambiental que permita potenciar los detalles del modelo durante el proceso de RTI Virtual. En este caso, la pieza elegida fue el fragmento cerámico que corresponde con las siglas AJ9089.	286
Figura 4.39. Segmentación y aislamiento de la zona de la rúbrica de la <i>terra sigillata</i> hispánica AJ9089 donde posteriormente se aplicará el RTI virtual. A la izquierda el proceso llevado a cabo en Agisoft Metashape. A la derecha el mismo proceso llevado a cabo en Blender.....	287
Figura 4.40. 4.40. Aplicación de la herramienta shrinkwrap y adhesión del calco digital sobre la rúbrica de la <i>terra sigillata</i> AJ9089.....	289
Figura 4.41. Calco ya procesado donde puede observarse la impronta de la <i>terra sigillata</i> en positivo (en color blanco), junto a la muesca dejada sobre el modelo original (color marrón).....	290

Figura 4.42. Diferentes grados de evidencia histórico-arqueológica (Aparicio Y Figueiredo, 2016: 239) de la recreación digital del punzón con el que se rubricó la pieza de <i>terra sigillata</i> hispánica AJ9089, procedente de los Villares de Andújar.	291
Figura 4.43. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 25 (AJ14). Fragmento de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/0ebe403277b641da89bcf6552d594cec [última visita: 26/10/19].	292
Figura 4.44. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 25 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.	293
Figura 4.45. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) de la pieza Nº 25 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i>	294
Figura 4.46. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 25 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).	295
Figura 4.47. Segmentación del modelo tridimensional del punzón anillo obtenido a partir de la marca de entalle de la pieza de <i>terra sigillata</i> Nº 25 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	295
Figura 4.48. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 26 (AJ641). Fragmento de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/44ff7b7818914193b44aa0901e3826a4 [última visita: 26/10/19].	296
Figura 4.49. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 26 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del	

complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.	296
Figura 4.50. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) de la pieza Nº 26 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i> de forma interactiva.	297
Figura 4.51. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 26 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).	298
Figura 4.52. Segmentación del modelo tridimensional del punzón obtenido a partir de la marca de entalle de la pieza de <i>terra sigillata</i> Nº 26 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	299
Figura 4.53. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 27 (AJ181). Fragmento de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/f0f34d989d014263831e6bef4593eccd [última visita: 26/10/19].....	299
Figura 4.54. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 27 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.	300
Figura 4.55. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) de la pieza Nº 27 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i> de forma interactiva.	301
Figura 4.56. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 27 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).	302

Figura 4.57. Recreación y montaje compositivo del punzón y la marca de entalle dispuestos sobre la pieza de <i>terra sigillata</i> hispánica N° 27.....	302
Figura 4.58. Segmentación del modelo tridimensional del punzón en forma de anillo recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de <i>terra sigillata</i> N° 27 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	303
Figura 4.59. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 28 (AJ2230). Fragmento de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/9dafcb8c1cbd4ae7852c198775c954f9 [última visita: 26/10/19].....	303
Figura 4.60. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 28 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.	304
Figura 4.61. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) de la pieza N° 28 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i> de forma interactiva.	305
Figura 4.62. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón cerámico empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 28 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).....	306
Figura 4.63. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de <i>terra sigillata</i> N° 28 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	306
Figura 4.64. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 29 (AJ2426). Fragmento de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/6644363efe8243e6b0e35a843d9f5608 [última visita: 26/10/19].	307

- Figura 4.65. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 29 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica. 308
- Figura 4.66. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 29 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica... 308
- Figura 4.67. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 30 (S/N 1). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/49e1437383204843b319daecc7c8db47> [última visita: 26/10/19]. 309
- Figura 4.68. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Metashape a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 30 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica. 310
- Figura 4.69. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 30 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva. 310
- Figura 4.70. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 31 (AJ9089). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d45031fa91b147cab3ba87a419cc8dc2> [última visita: 26/10/19]. 311
- Figura 4.71. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Photoscan a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 31 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). 312
- Figura 4.72. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 31 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se

muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i> de forma interactiva.	313
Figura 4.73. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 31 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).	314
Figura 4.74. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 31 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).	314
Figura 4.75. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de <i>terra sigillata</i> N° 31 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	315
Figura 4.76. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 32 (S/N 1). Fragmento de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/411c67f036d24bdcb15128496f8be1f8 [última visita: 26/10/19].	315
Figura 4.77. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Photoscan a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 32 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.	316
Figura 4.78. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) de la pieza N° 32 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i> de forma interactiva.	317
Figura 4.79. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 32 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).	318

- Figura 4.80. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N° 32 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro. 318
- Figura 4.81. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N ° 33 (S/N 2). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/7d0491afcb22480f88f969bf9dc58a8b2> [última visita: 26/10/19]. 319
- Figura 4.82. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Photoscan a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N ° 33 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica. 320
- Figura 4.83. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza N ° 33 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva. 321
- Figura 4.84. En la parte superior, calco obtenido directamente de la pieza de *terra sigillata* hispánica N° 33. En la parte inferior, calco retocado a partir del modelo original y trazado tras una rigurosa consulta bibliográfica (Sotomayor *et al.*, 1999: 40; Fernández-García, 2004: 260; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 96). 322
- Figura 4.85. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza N° 33 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). 322
- Figura 4.86. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* N° 33 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro. 323
- Figura 4.87. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 34 (S/N 3). Fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén,

España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/31fed493a4af42c8a1c2a710dba940f4> [última visita: 26/10/19]..... 323

Figura 4.88. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Photoscan a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 34 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica. 324

Figura 4.89. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de *Polynomial Texture Mapping* (.ptm) de la pieza Nº 34 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el *software* de forma interactiva. 325

Figura 4.90. En la parte superior, calco obtenido directamente de la pieza de *terra sigillata* hispánica Nº 34. En la parte inferior, calco retocado a partir del modelo original y trazado tras una rigurosa consulta bibliográfica (Sotomayor *et al.*, 1999: 42; Fernández-García, 2004: 260; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 97). 326

Figura 4.91. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 34 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). 326

Figura 4.92. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de *terra sigillata* Nº 34 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro. 327

Figura 4.93. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 35 (S/N 4) del fragmento de *terra sigillata* hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: <https://sketchfab.com/3d-models/d9c455ce4bc24e5eb38e278bd14aa7cb> [última visita: 26/10/19]. 328

Figura 4.94. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Photoscan a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 35 de *terra sigillata* hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica. 329

Figura 4.95. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) de la pieza Nº 35 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i> de forma interactiva.	330
Figura 4.96. En la parte superior, calco obtenido directamente de la pieza de <i>terra sigillata</i> hispánica Nº 35. En la parte inferior, calco retocado a partir del modelo original y trazado tras una rigurosa consulta bibliográfica (Sotomayor et al., 1999: 39; Fernández-García, 2004: 259; Fernández-García, 2013b: 314; Fernández-García, 2015: 59; Fernández-García y Macías, 2013: 187; Fernández-García y Serrano, 2013: 95).	331
Figura 4.97. Hipótesis reconstructiva realizada en Blender de cómo podría haber sido el punzón empleado para la rúbrica de la marca de entalle de la pieza Nº 35 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España).	331
Figura 4.98. Segmentación del modelo tridimensional del punzón cerámico recreado a partir de la marca de entalle de la pieza de <i>terra sigillata</i> Nº 35 procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	332
Figura 4.99. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 36 (S/N 5). Fragmento de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/c32d57e772004920890f4586ed56c73a [última visita: 26/10/19].	332
Figura 4.100. Mapa Digital de Elevaciones (DEM) obtenido en Agisoft Photoscan a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 36 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se pueden percibir con mucha más facilidad los detalles más pequeños de la rúbrica.	333
Figura 4.101. Montaje con las capturas obtenidas en RTIVlewer sobre el modelo de <i>Polynomial Texture Mapping</i> (.ptm) de la pieza Nº 36 de <i>terra sigillata</i> hispánica procedente del complejo alfarero de los Villares de Andújar (Jaén, España). En él se muestran algunos de los modos de renderizado con los que permite trabajar el <i>software</i> de forma interactiva.	334

Figura 4.102. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas de cerámica pintada de tradición ibérica que conforman el conjunto seleccionado de cerámica pintada de tradición ibérica de los Villares de Andújar.....	338
Figura 4.103. Propuesta tipológica de las cerámicas de tradición ibérica de los Villares de Andújar (Ruiz y Peinado, 2013: 171).	341
Figura 4.104. En la parte superior, el proceso de trabajo para la creación de los apliques de realce en el modelo fotogramétrico de la pieza de cerámica pintada de tradición ibéricas AJ6. El resultado final será un modelo uniforme con la decoración en relieve, que permitirá a personas ciegas percibir la disposición de la decoración. En la parte inferior, réplica tiflológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo fotogramétrico de la pieza Nº 37 con la textura original (derecha).	343
Figura 4.105. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 37 (AJ6). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica () procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	344
Figura 4.106. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza Nº 37 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/fee5b35f8d3349c09f2533daaa7dc718 [última visita: 26/10/19].....	345
Figura 4.107. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza Nº 37 realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	346
Figura 4.108. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 38 (AJ4615). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	346
Figura 4.109. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza Nº 38 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/1404a4e92c3b41e0832d28a05354cf16 [última visita: 26/10/19].	347
Figura 4.110. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 39 (AJ7416). del	

fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	348
Figura 4.111. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 39 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/d21947618eef4289ab64ff5b8857d312 [última visita: 26/10/19].	349
Figura 4.112. Réplica tiflológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo original (derecha) de la pieza N° 39.	349
Figura 4.113. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza N° 39 realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	350
Figura 4.114. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 40 (AJ7418). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	350
Figura 4.115. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 40 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/a7a6b029d9f04d3d9e69c26f61d6f0dd [última visita: 26/10/19].	351
Figura 4.116. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 41 (AJ7456). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	352
Figura 4.117. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 41 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/6118af4174d04d15a8c3a0c0f2344895 [última visita: 26/10/19].	353
Figura 4.118. Réplica tiflológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo original (derecha) de la pieza N° 41.	353
Figura 4.119. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza N° 41 realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	354

Figura 4.120. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 42 (AJ7490). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	354
Figura 4.121. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 42 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/9a80b1deeb4d4252867e23bba2fc7468 [última visita: 26/10/19].....	355
Figura 4.122. Réplica tiflológica (izquierda), modelo 3D tratado con Dstretch (centro) y modelo original (derecha) de la pieza N° 42.	356
Figura 4.123. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza N° 42 realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	356
Figura 4.124. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 43 (AJ7560). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	357
Figura 4.125. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 43 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/cb6ae3d2bfa94b9a81e5351df3e67a73 [última visita: 26/10/19].....	358
Figura 4.126. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 44 (AJ7560_2) del fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	359
Figura 4.127. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 44 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/8d3b12022db045c3a3d561dbad19412e [última visita: 26/10/19].	360
Figura 4.128. Réplica tiflológica de la pieza N° 44.	360

Figura 4.129. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza N° 44 realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	361
Figura 4.130. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 45 (S/N1). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	361
Figura 4.131. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 45 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/55963d2923fd415bbac4a72d1dee3fd8 [última visita: 26/10/19].	362
Figura 4.132. Réplica tiflológica de la pieza N° 45.	363
Figura 4.133. Modelo segmentado de la réplica tiflológica de la pieza N° 45 realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	363
Figura 4.134. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 46 (S/N 2). Fragmento de cerámica pintada de tradición ibérica procedente de los Villares de Andújar (Jaén, España).	364
Figura 4.135. Captura del modelo tridimensional interactivo de la pieza N° 46 alojado en la plataforma de visualización online de Sketchfab. Su mapa de texturas fue tratado previamente mediante el <i>plugin</i> de ImageJ Dstretch para realzar los pigmentos. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://sketchfab.com/3d-models/c0ab8cc0b3ed4383841f4d3c80abb9ad [última visita: 26/10/19]).	365
Figura 4.136. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas que conforman la colección de la SAS Yucatán.	367
Figura 4.137. Cenotes y cuevas sumergidas registradas hasta diciembre del 2005 (Rojas y González, 2006: 2).	369
Figura 4.138. Montaje compositivo con renderizados de proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 47 (S.5/004). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6NLNV [última visita: 29/11/19].	372

Figura 4.139. Renderizado de la hipótesis reconstructiva con prótesis no mimética llevada a cabo en Blender de dos de los pies faltantes de la pieza N° 47.	373
Figura 4.140. Montaje compositivo con renderizados de proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 48 (M.3/003). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNy [última visita: 29/11/19].	374
Figura 4.141. Recreación realizada en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 48. En la escena se representa el posible uso de este recipiente, como contenedor de resina de copal, un tipo de incienso muy usado en el área maya para los rituales.	375
Figura 4.142. Montaje compositivo con renderizados de proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 49 (S.4/007). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OzB9 [última visita: 29/11/19].	375
Figura 4.143. Recreación realizada en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 49. En la escena se representa el posible uso de este recipiente, al lado de un chultún o reservorio de agua.	376
Figura 4.144. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 50 (ML82/8BS). Un cuenco esgrafiado maya. El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OzB9 [última visita: 29/11/19]).	377
Figura 4.145. Recreación obtenida en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 50.	378
Figura 4.146. Reconstrucción con prótesis no mimética y renderizado llevado a cabo en Blender sobre la pieza N° 50.	378
Figura 4.147. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 51 (B39/30). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6NLNo [última visita: 29/11/19]).	379
Figura 4.148. Renderizados obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico original (derecha) y el modelo tratado con Dstretch (izquierda).	380

Figura 4.149. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 52 (S/N1). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6NLNo [última visita: 29/11/19]).	380
Figura 4.150. Reconstrucción con acabado mimético y recreación llevada a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 52. Modelo original (izquierda) y reconstrucción basada en la sección de la parte visible (derecha).	381
Figura 4.151. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 53 (B13/9). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6JnyL [última visita: 29/11/19]).	382
Figura 4.152. Figura 4.149. Ejemplos tipológicos de botijas coloniales Tipo B de finales del s. XVI (Amores y Chisvert, 1993: 310).	383
Figura 4.153. En la parte superior, creación en Blender de una botija de referencia a partir de la sección de la forma 72s trazada por Amores y Chisvert (1993: 310). En la parte inferior, renderizado obtenido en Blender donde se comparan el modelo fotogramétrico de la pieza N° 53 y el modelo simulado a partir de la tipología.	384
Figura 4.154. Renderizado obtenido en Blender a partir del modelo fotogramétrico realizado sobre la botija olivera localizada en el Nevado de Toluca (México). El modelo puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6JnyL [última visita: 29/11/19]).	385
Figura 4.155. Ejemplo de alineamiento en CloudCompare de la botija falsa basada en la tipología 72 S y la pieza N° 53. Este es el primer paso para llevar a cabo el análisis y es necesario que ambos objetos tengan una escala y posición muy similares.	385
Figura 4.156. En la parte superior, análisis comparativo llevado a cabo en CloudCompare entre la pieza N° 53 y la botija falsa recreada en base a la tipología 72 S. Las tonalidades más frías indican un mayor grado de semejanza entre ambos objetos digitales. Los tonos más cálidos aparecen en aquellas zonas donde existe mayor diferencia. En la parte inferior, comparación en CloudCompare entre la botija del Nevado de Toluca (Estado de México, México) y la botija falsa recreada en base a la tipología 72 S. Las tonalidades más frías indican un mayor grado de semejanza entre ambos objetos digitales. Los tonos más cálidos aparecen en aquellas zonas donde existe mayor diferencia.	386
Figura 4.157. Comparación en CloudCompare entre los modelos fotogramétricos de la botija de Canún y la procedente del Nevado de Toluca. Las tonalidades más frías indican	

un mayor grado de semejanza entre ambos objetos digitales. Los tonos más cálidos aparecen en aquellas zonas donde existe mayor diferencia.	387
Figura 4.158. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas que conforman la colección de la SAS Nevado de Toluca.	390
Figura 4.159. Mapa del sitio arqueológico del Nevado de Toluca. En rojo se han señalado las dos localizaciones donde fueron halladas las figurillas cerámicas objeto de este subapartado.....	391
Figura 4.160. Imagen extraída del libro cuatro del <i>Códice Florentino</i> donde un <i>tonalpouhque</i> (término que puede ser traducido como “el que posee la cuenta de los días”) enseña a una mujer en un códice el día en que su hijo será bautizado. En este caso, el día 10 Conejo (Sahagún, 1985). Extraído de: https://www.wdl.org/es/item/10096/ [Última consulta: 13/08/19].	393
Figura 4.161. Principales sitios arqueológicos del Nevado de Toluca y los materiales que en ellos aparecieron (Novelo, 2009: 36). Señalados en rojo las dos localizaciones (Laguna de la Luna y La Estructura) donde se encontraron las figurillas cerámicas que se estudian en este subapartado.	394
Figura 4.162. Ejemplos de fragmentos y figurillas cerámicas localizadas en la zona del Valle de Toluca y que presentan semejanzas formales con el conjunto recuperado por la Subdirección de Arqueología Subacuática en el Nevado de Toluca (García, 1941: 217).	395
Figura 4.163. Proceso de creación de la animación de video de la pieza N.º 55 mediante <i>video sequence editor</i> , una de las herramientas que incorpora el programa multiplataforma Blender.	396
Figura 4.164. Comparativa del renderizado obtenido de la colección del Nevado de Toluca (superior) y las impresiones 3D realizadas a partir de esos mismos modelos fotogramétricos (inferior). La colección fue digitalizada en la Subdirección de Arqueología Subacuática de Ciudad de México e impresa posteriormente en Granada mediante una Creality Ender 3 pro.	398
Figura 4.165. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 54 (PASNT/ONT0749). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNK [última visita: 29/11/19].	400

Figura 4.166. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la figurilla cerámica que corresponde a la pieza N° 54. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	401
Figura 4.167. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de la forma completa de la pieza N° 54. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	401
Figura 4.168. Comparativa entre el modelo fotogramétrico (izquierda) y la réplica en ácido poliláctico (derecha) de la pieza N° 54. La impresión 3D En se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	402
Figura 4.169. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 55 (PASNT/ONT0749/2). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNL [última visita: 29/11/19].	403
Figura 4.170. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la figurilla cerámica que corresponde a la pieza N° 55. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	404
Figura 4.171. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 55. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	404
Figura 4.172. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 56 (PASNT/ONT0773). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNO [última visita: 29/11/19].	405
Figura 4.173. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 56. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	406
Figura 4.174. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 57 (PASNT/ONT1118). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNP [última visita: 29/11/19].	407

Figura 4.175. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 57. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	408
Figura 4.176. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 58 (PASNT/ONT1121). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNQ [última visita: 29/11/19].	408
Figura 4.177. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de la cabeza cerámica que corresponde a la pieza N° 58. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	409
Figura 4.178. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 58. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	410
Figura 4.179. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 59 (PASNT/ONT1122). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNR [última visita: 29/11/19].	410
Figura 4.180. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la cabeza cerámica que corresponde a la pieza N° 59. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	411
Figura 4.181. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 59. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	412
Figura 4.182. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 60 (PASNT/ONT1124). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].	412
Figura 4.183. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de los rasgos faciales ausentes en la cabeza cerámica que corresponde con la pieza N° 60. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	413

Figura 4.184. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 60. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	414
Figura 4.185. Montaje y renderizado en Blender con todas las piezas que conforman la colección Centro Damián Bayón.....	416
Figura 4.186. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 61 (S/N 1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	419
Figura 4.187. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 62 (S/N 2). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	420
Figura 4.188. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 63 (S/N 3). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	421
Figura 4.189. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 64 (S/N 4). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	422
Figura 4.190. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 65 (S/N 5). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	423
Figura 4.191. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 66 (S/N 6). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	424
Figura 4.192. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 67 (S/N 7). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	425

Figura 4.193. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 68 (S/N 8). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	426
Figura 4.194. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 69 (S/N 9). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXNT [última visita: 29/11/19].....	427
Figura 4.195. Montaje y renderizado en Blender con la selección de algunas de las piezas que conforman la colección del proyecto medialab “Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)”.....	430
Figura 4.196. Página Web desarrollada por el equipo de trabajo del proyecto Virtual 3D UGR, al cual se adscribe el autor de la presente tesis, en el marco del proyecto “Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR)”. La página puede ser consultada a través de la siguiente dirección URL: https://virtual3dugr.prehistoriayarqueologia.org/ [última consulta: 01/11/2019].....	431
Figura 4.197. Perfil en Sketchfab (izquierda) y página Web desarrollada durante el proyecto Conectados al pasado: modelos 3D de la colección didáctica del Departamento de Prehistoria y Arqueología (UGR).	432
Figura 4.198. Tabla donde se compara el grado de repercusión mediática de algunos perfiles de Sketchfab relacionados con el ámbito del patrimonio cultural y la Arqueología. Entre ellos, el perfil de reciente creación Virtual 3D UGR.....	432
Figura 4.199. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza Nº 70 (M833). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6H6Wy [última visita: 29/11/19].....	436
Figura 4.200. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético de la pieza Nº 70. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	437
Figura 4.201. Réplica en ácido poliláctico (PLA) llevada a cabo a partir del modelo fotogramétrico con prótesis no mimética de la pieza Nº 70.	437

Figura 4.202. Recreación realizada en Blender donde se ejemplifica el posible uso que podrían haber tenido este tipo de soportes cerámicos.	438
Figura 4.203. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 71 (CM/87/4/IV/S/1/1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6IMQv [última visita: 29/11/19].	439
Figura 4.204. Reconstrucciones y recreaciones integrales y con acabado mimético llevadas a cabo en Blender a partir del modelo reconstruido de la pieza N° 71.	440
Figura 4.205. Réplicas en ácido poliláctico (PLA) llevadas a cabo a partir del modelo fotogramétrico original (izquierda) y el modelo reconstruido con acabado mimético (derecha) de la pieza N° 71. La impresión 3D se llevó a cabo mediante una impresora Creality Ender 3 pro.	441
Figura 4.206. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 72 (18810/005-1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6HBot [última visita: 29/11/19].	442
Figura 4.207. Diferentes pasos del proceso de reconstrucción digital llevado a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 72. De izquierda a derecha, modelo original, reconstrucción con prótesis digital no mimética, modelo digital reconstruido con acabado mimético y pieza recreada.	443
Figura 4.208. Recreación ideal donde se ejemplifica el uso de este tipo de pesas y cómo podría haber sido un telar de época clásica en la zona del altiplano granadino. El proceso fue llevado a cabo en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 72.	443
Figura 4.209. Modelo de la pieza N° 72 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.	444
Figura 4.210. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 73 (LPTA2.1A). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6HzID [última visita: 29/11/19].	444
Figura 4.211. Modelo de la pieza N° 73 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.	445

Figura 4.212. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 74 (LPTA5a). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXON [última visita: 29/11/19].....	446
Figura 4.213. Modelo de la pieza N° 74 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	447
Figura 4.214. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 75 (12692). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6Lx9W [última visita: 29/11/19].....	447
Figura 4.215. Modelo de la pieza N° 75 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	448
Figura 4.216. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza 76 (12923). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6JqN9 [última visita: 29/11/19].....	449
Figura 4.217. Modelo de la pieza N° 76 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	450
Figura 4.218. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 77 (11098). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6JrNu [última visita: 29/11/19].	450
Figura 4.219. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético (derecha), junto al modelo fotogramétrico original (izquierda)de la pieza N° 77. Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	451
Figura 4.220. Modelo de la pieza N° 77 reconstruida con acabado mimético segmentado y preparado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	452
Figura 4.221. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 78 (14919). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6JsGA [última visita: 29/11/19].....	452

Figura 4.222. Modelo de la pieza N° 78 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	453
Figura 4.223. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 79 (1899). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6JsGA [última visita: 29/11/19].....	454
Figura 4.224. Modelo de la pieza N° 79 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	455
Figura 4.225. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 80 (M58193). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6KPJO [última visita: 29/11/19].....	455
Figura 4.226. Hipótesis reconstructiva integral con acabado mimético (derecha), junto al modelo fotogramétrico original de la pieza N° 80 (izquierda). Tanto la reconstrucción como la obtención del renderizado fueron llevados a cabo en Blender.	456
Figura 4.227. Modelo de la pieza N° 80 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	456
Figura 4.228. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 81 (S/N1). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6KPJO [última visita: 29/11/19].....	457
Figura 4.229. Modelo de la pieza N° 81 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	458
Figura 4.230. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 82 (S/N2). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6H6qE [última visita: 29/11/19].....	458
Figura 4.231. Modelo de la pieza N° 82 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	459
Figura 4.232. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 83 (S/N3). El	

modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6H67o [última visita: 29/11/19].....	460
Figura 4.233. Modelo de la pieza N° 83 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	461
Figura 4.234. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 84 (S/N4). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6H67o [última visita: 29/11/19].....	461
Figura 4.235. Hipótesis reconstructiva con prótesis digital semimimética llevada a cabo en Blender sobre la pieza N° 84. En este caso, se ha intentado diferenciar claramente la parte real de la reconstruida.	462
Figura 4.236. Modelo de la pieza N° 84 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	463
Figura 4.237. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 85 (S/N5). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6HBpH [última visita: 29/11/19].....	463
Figura 4.238. Modelo de la pieza N° 85 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	464
Figura 4.239. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N° 86 (S/N6). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6JDPP [última visita: 29/11/19].....	465
Figura 4.240. Reconstrucción digital integral con acabado mimético y recreación de la pieza N° 86. Ambas fueron llevadas a cabo en Blender.....	465
Figura 4.241. Modelo de la pieza N° 86 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	466
Figura 4.242. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N ° 87 (S/N7). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXPx [última visita: 29/11/19].....	467

Figura 4.243. Modelo de la pieza N° 87 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	468
Figura 4.244. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N ° 88 (S/N8). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXPP [última visita: 29/11/19].....	469
Figura 4.245. Modelo de la pieza N° 88 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	470
Figura 4.246. Montaje compositivo con renderizados con proyección ortográfica obtenidos en Blender a partir del modelo fotogramétrico de la pieza N ° 89 (S/N9). El modelo 3D puede consultarse a través del siguiente enlace: https://skfb.ly/6OXOD [última visita: 29/11/19].....	470
Figura 4.247. Modelo de la pieza N° 87 segmentado para su posterior impresión. El proceso fue realizado a partir del <i>software</i> Ultimaker Cura.....	471

8.2 Glosario de términos

ADD-ON: Es un término sinónimo de plugin, complemento, extensión, expansión o snap-ins. Un add-on (literalmente, añadir) es un pequeño programa que, por sí mismo, no tiene razón de ser. Sin embargo, cuando se agrega a la plataforma base para la que ha sido diseñado, le añade funcionalidades adicionales.

AJUSTE BUNDLE (BUNDLE ADJUSTEMENT): El ajuste bundle es en realidad solo un gran problema de estimación de parámetros geométricos dispersos, los parámetros son las coordenadas de las funciones 3D combinadas, posiciones de cámara y calibraciones(Triggs *et al.*, 2000: 299). Es un método que permite realizar la recolocación espacial tanto de una serie de puntos coincidentes entre imágenes como de las posiciones de las cámaras que tomaron dichas imágenes respecto a la escena

ALFABETIZACIÓN DIGITAL: podríamos definir la ‘alfabetización digital’ como el proceso de enseñanza-aprendizaje de la lectoescritura de textos digitales. Aquí entendemos ‘texto’ en su sentido amplio: cualquier contenido cognitivo o unidad de sentido que

queda fijado según ciertas reglas en un elemento o soporte material estable de modo que pueda transmitirse en el espacio y en el tiempo (Román Gonzalez, 2016)

ANASTILOSIS VIRTUAL: “Según los Principios de Sevilla (SEAV & FIAV, 2011), recomposición de las partes existentes pero desmembradas en un modelo virtual”.

ARQUEOLOGÍA VIRTUAL: “Según los Principios de Sevilla (SEAV & FIAV, 2011), es la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico”.

BAKEADO: en el ámbito del diseño 3D este procedimiento hace referencia a un flujo de trabajo conducente a la obtención de una serie de mapas de texturas que permiten simular la geometría y los detalles de un objeto *highpoly* de gran resolución en un modelo *lowpoly* sometido a retopología.

CIBER-ARQUEOLOGÍA (Cyber-Archaeology): término acuñado por Maurizio Forte en 2011 como alternativa más completa al de Arqueología Virtual. Este nuevo concepto haría referencia no tanto a una “restauración del pasado”, sino más a un proceso “simulación cibernética del pasado”. Las diferencias, grosso modo, serían una mayor interacción del público (*feedback*) con estos nuevos recursos digitales y las múltiples relaciones que se derivan de ello.

CODIGOALFABETIZACIÓN (code-literacy): el proceso de enseñanza-aprendizaje del código informático, la materia prima sobre la que se construye todo el mundo digital. Estaría englobado dentro de una realidad más amplia como la ‘alfabetización web’; que a su vez se inscribe en un terreno aún mayor como es la ‘alfabetización digital’

CONDICIÓN DE COPLANARIEDAD: esta condición establece que los dos centros de proyección, izquierdo y derecho, del par esteresocópico, un punto cualquiera del modelo y sus puntos homólogos correspondientes en la imagen fotográfica izquierda y derecha se encuentran en el mismo plano (Benavides López, 2017, p. 114)

COORDENADAS UVW: La mayoría de los mapas de material son un plano 2D asignado a una superficie 3D. En consecuencia, el sistema de coordenadas utilizado para describir

el posicionamiento y la transformación del mapa es diferente de las coordenadas de los ejes X, Y y Z utilizadas en el espacio 3D. Específicamente, las coordenadas de mapeo usan las letras U, V y W; Las tres letras que preceden a X, Y y Z en el alfabeto.

Las coordenadas U, V y W están en paralelo a las direcciones relativas de las coordenadas X, Y y Z. Si observas una imagen de un mapa 2D, U es el equivalente de X y representa la dirección horizontal del mapa. V es el equivalente de Y y representa la dirección vertical del mapa. W es el equivalente de Z y representa la dirección perpendicular del plano UV del mapa.

Puede preguntarse por qué necesita una coordenada de profundidad como W para un plano 2D. Una razón es que a veces es útil poder invertir la orientación del mapa en relación con su geometría. Para hacer esto, necesitas la tercera coordenada. La coordenada W también tiene importancia para los materiales de procedimientos tridimensionales. Véase también el modificador de decodificación UVW y el modificador de mapa UVW.

DEMOCRATIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO: Por democratización del conocimiento entenderemos lo que correspondería denominar, si no fuera extenso en demasía, democratización de las relaciones sociales de poder más directamente basadas en el conocimiento avanzado. sugiere vincular el propósito de disminuir las desigualdades en el uso del conocimiento con las decisiones sobre conocimiento, a través de las vinculaciones de la gente con las cuestiones planteadas.

DIGITALIZACIÓN (*digitisation*): Procedimiento que implica transformar una señal o código analógico en una señal o código de naturaleza digital.

DOMI METHOD: Uno de los métodos de captura empleado para la producción de modelos de reiluminación interactivos (*Polynomial Texture Mapping*) en la técnica de fotografía computarizada *Reflectance Transformation Imaging*. Este método de adquisición de fotografías emplea una cúpula o domo compuesta por decenas de luces cuyas posiciones y ángulo de incidencia son siempre las mismas y cuyas ubicaciones están perfectamente determinadas y compiladas en un archivo de posición que puede volcarse en el programa informático empleado. De esta forma, no es necesario añadir a

la escena elementos adicionales que indiquen al *software* la dirección de la que proviene la luz. La cámara a través de la cual se obtienen las fotografías permanece, eso sí, en una posición fija cenital. Ver también: *Reflectance Transformation Imaging*.

ESTIRAMIENTO POR DECORRELACIÓN (Decorrelation stretching): técnica que produce imágenes donde se exagera la saturación de color. La extracción de decorrelación se describe como una técnica basada en una transformación de componente principal en la que las variables transformadas se estiran en contraste y luego se vuelven a transformar a las coordenadas originales para su visualización.

FOTOGRAMETRÍA: Según la última definición de la ASPRS (Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección), la Fotogrametría “*es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos*”. De forma muy resumida y simple se podría definir como una técnica que emplea datos puramente bidimensionales (fotografías) para la producción de información tridimensional.

GESTIÓN INTEGRAL: “Según los Principios de Sevilla comprende las labores de inventario, prospección, excavación, documentación, investigación, mantenimiento, conservación, preservación, restitución, interpretación, presentación, acceso y uso público de los restos materiales del pasado”.

HEIGHT MAP (MAPA DE ALTURA): también conocido como *parallax mapping*, es un concepto muy similar al de *normal map*. No obstante, esta técnica es más compleja y por lo tanto también más costosa. Los mapas de altura se usan generalmente junto con los mapas de normales, ya menudo se utilizan para dar una definición adicional a superficies y mallas simples donde han de simularse grandes golpes y protuberancias. Mientras que el *normal mapping* modifica la iluminación a través de la superficie de la textura, el *parallax height mapping* (mapeado de altura de paralaje) va un paso más y en realidad desplaza las áreas de la textura superficial visible para lograr un tipo de efecto de oclusión a nivel de superficie. Ver también: retopología, bakeado y normal map.

HIGHLIGHT METHOD: otro de los métodos de captura empleado para la producción de modelos de reiluminación interactivos (*Polynomial Texture Mapping*) en la técnica de fotografía computarizada *Reflectance Transformation Imaging*. En este caso no existe una cúpula física de luces, sino que es el propio usuario el que ajusta manualmente la iluminación desde diferentes posiciones. La cámara, al igual que ocurría en el método del domo, se encuentra fija en una posición perfectamente cenital, pero es necesario incluir una canicas o bolas metálicas que indiquen al *software* de creación del modelo la dirección y ángulo de incidencia de la fuente de luz. Ver también: *Reflectance Transformation Imaging*.

HIGHPOLY MODEL: modelo tridimensional cuya malla geométrica digital está compuesta por un gran número de polígonos. El nivel de detalle de estos modelos es directamente proporcional al peso y la dificultad para almacenarlos. Ver también: retopología y lowpoly.

HUMANIDADES DIGITALES (Digital Humanities): Anteriormente “Humanidades Computarizadas (Humanities Computing). “Pueden describirse como un conjunto de principios, valores y prácticas en donde convergen múltiples objetos de estudio y saberes cuyas fronteras se encuentran en continua negociación”(Rojas, 2013, p. 79)

IMAGEN DIGITAL PROCESADA (IDP): son imágenes obtenidas a partir de dispositivos de conversión analógica-digital, como los escáneres o las cámaras digitales y pueden ser manipuladas digitalmente a través de *software*, pero éste no interviene directamente en su proceso de creación

IMAGEN DIGITAL DE SÍNTESIS (IDS): también llamadas infografías- se sitúan en el entorno de la «Computación Gráfica». Se obtienen a través de *software*, produciéndolas enteramente a través de algoritmos y sin necesidad de referente real, por ejemplo realizando dibujos con el ratón o por medio de programas de renderización 2D y 3D.

LIDAR (*Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*): es un método y dispositivo de detección remota que emplea un haz luz de láser pulsado para medir rangos de distancia variables. La distancia de la fuente emisora con el objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a

través de la señal que este refleja. Estos pulsos de luz, combinados con otros datos registrados por el sistema aerotransportado donde suele emplearse, generan información tridimensional precisa sobre la forma de la Tierra y sus características superficiales. La tecnología lidar se emplea en diferentes campos y disciplinas como la Geología, Sismología, la Física o la Arqueología, entre otras.

LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO: conjunto de investigaciones y operaciones orientadas a determinar las características significativas, tanto morfológicas, dimensionales, figurativas y tecnológicas de un objeto, para evaluarlo e investigarlo con el propósito de construir un modelo tridimensional simplificado, a través del cual poder analizarlo (Cundare y Carnevali, 2000).

LOWPOLY MODEL: modelo tridimensional cuya malla geométrica digital está compuesta por un muy pocos polígonos. El nivel de detalle o resolución geométrica de estos modelos es bastante bajo, pero esto los hace fácilmente manipulables y almacenables. Ver también: retopología y highpoly model.

MAKERSLACES: espacios ubicados en las instalaciones de la comunidad o instituciones educativas y dotados de equipos para que los estudiantes puedan modelar y crear sus propios objetos de forma colaborativa. Los makerspaces pueden contener equipos como impresoras 3D, Raspberry Pi, Arduino, MaKey MaKeys, el *software* Adobe Creative Suite, cortadoras láser y máquinas de coser, etc.. La cuestión de cómo renovar o cambiar la finalidad de las aulas y laboratorios para hacer frente a las necesidades del futuro se está afrontando a través del concepto de makerspaces, que ofrecen herramientas y experiencias de aprendizaje para ayudar a las personas a llevar a cabo sus ideas.

MEDIALAB (Laboratorio de medios): un tipo de laboratorio social íntimamente ligados a la innovación tecnológica. Este tipo de espacios están dotados de equipos informáticos para que ciudadanos de diversas edades puedan llevar a cabo proyectos ligados a las nuevas tecnologías y de forma colaborativa.

MINERÍA DE DATOS (*data mining*): Extraer datos a gran escala.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (DEM/MDT): es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. En otras palabras, una representación en falso 3D de la topografía (altimetría y/o batimetría) de una zona u objeto y en una forma adaptada a su utilización mediante un ordenador.

MODIFICADORES (modifiers): En Blender, herramientas internas que permiten generar procedimientos específicos y automatizados sobre modelos tridimensionales.

NORMALS (normales): Matemáticamente hablando, en una superficie tridimensional la dirección perpendicular al plano tangente de una ubicación concreta se representa mediante un vector conocido como “normal”. En diseño 3D, la normal se utiliza frecuentemente para determinar cómo se reflejarán los rayos de luz en la superficie de la geometría 3D. De esta forma, es posible, entre otras cosas, imitar el comportamiento de esta y dar así una falsa sensación de geometría en modelos lowpoly o de baja resolución. Ver también: retopología.

NORMAL MAP (mapa de normales): es un tipo especial de textura de imagen que le dice al motor de renderizado como debe rebotar o comportarse la luz sobre la superficie de un objeto determinado, habitualmente en un ángulo diferente al de la superficie que realmente está allí. De forma sencilla, esta sería una forma de engañar a la luz para que crear una falsa ilusión de profundidad o detalle en geometría principalmente planas. Ver también: retopología.

AMBIENT OCLUSION MAP (mapa de oclusión ambiental): es un tipo especial de textura de imagen que permite generar detalle y sombras más pronunciadas en superficies principalmente planas. La oclusión ambiental garantiza y permite crear una escena más realista. En otras palabras, la oclusión ambiental nos desvela y define cuánta luz debe ser bloqueada en el entorno en el que se desarrolla el renderizado de un objeto. Ver también: retopología.

OPEN SOURCE: materiales de diversa naturaleza cuyo acceso y uso es totalmente gratuito.

ORTOFOTOGRAFÍA: Tipo de representación fotográfica donde todos los elementos de la escena están a la misma escala y los errores y deformaciones han sido corregidos. Esto se consigue proyectando de forma paralela las imágenes fotográficas sobre el modelo tridimensional y permite, entre otras cosas, realizar mediciones precisas sobre un formato bidimensional.

PARADATOS: “La Carta [de Londres] define los parاداتos como la información de los procesos humanos de comprensión e interpretación de la información de los objetos. Los parاداتos incluyen las descripciones acumuladas en el interior de un archivo estructurado y que determinan qué tipo de pruebas o evidencias se usaron para interpretar un artefacto, o los comentarios sobre las premisas metodológicas en el interior de una publicación científica. Es muy similar, pero diferente en cuanto al énfasis, de los “metadatos contextuales” que tienden a comunicar interpretaciones de un artefacto o colección, en lugar del proceso a través del cual uno o más artefactos son procesados o interpretados” (AA.VV., 2009). Ver también: transparencia.

PARALAJE: es la desviación angular de la posición aparente de un objeto, dependiendo del punto de vista elegido.

PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO: “Según los Principios de Sevilla (SEAV & FIAV, 2011), es el conjunto de elementos materiales, tanto muebles como inmuebles, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie o en el subsuelo, en la tierra o en el agua, que junto con su contexto, que será considerado también como formante del patrimonio arqueológico, sirven como fuente histórica para el conocimiento del pasado de la humanidad. Estos elementos, que fueron o han sido abandonados por las culturas que los fabricaron, tienen como sello distintivo el poder ser estudiados, recuperados o localizados usando la metodología arqueológica como método principal de investigación, cuyas técnicas principales son la excavación y la prospección, sin menoscabo de la posibilidad de usar otros métodos complementarios para su conocimiento”.

POLYNOMIAL TEXTURE MAPPING (.ptm): formato digital y método de fotografía computacional desarrollado por Tom Malzbender y Dan Gelb (Malzbender *et al.*, 2001:

520-526), también conocido como *Reflectance Transformation Imaging* (RTI) que permite generar información tridimensional a partir de imágenes bidimensionales. A diferencia de la fotogrametría la cámara permanece aquí en una posición fija y los elementos que varían en cada fotografía son la proyección y el ángulo de incidencia de una fuente de luz artificial que se aplica de forma externa y manual. El resultado es un modelo interactivo de reiluminación que puede ser visualizado en un ordenador. Ver también: *Reflectance Transformation Imaging*.

PROGRAMA DE CONCORDANCIAS (gestor de corpus): *softwares* informáticos que permiten analizar un gran volumen de textos en diferentes idiomas. Contiene comandos que permiten extraer términos similares que se repiten y, mostrar además, sus ubicaciones. Muy utilizado en estudios lingüísticos.

RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL: “Según los Principios de Sevilla (SEAV & FIAV, 2011), comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado a partir de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica”.

RECREACIÓN VIRTUAL: “Según los Principios de Sevilla (SEAV & FIAV, 2011), comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, del pasado en un momento determinado de un sitio arqueológico, incluyendo cultura material (patrimonio mueble e inmueble), entorno, paisaje, usos, y en general significación cultural”.

REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING (RTI): método de fotografía computacional desarrollado por Tom Malzbender y Dan Gelb (Malzbender *et al.*, 2001: 520-526), también conocido como *Polynomial Texture Mapping* (PTM) que permite generar información tridimensional a partir de imágenes bidimensionales. A diferencia de la fotogrametría la cámara permanece aquí en una posición fija y los elementos que varían en cada fotografía son la proyección y el ángulo de incidencia de una fuente de luz

artificial que se aplica de forma externa y manual. El resultado es un modelo interactivo de reiluminación que puede ser visualizado en un ordenador.

REFLECTANCIA: La reflectancia puede definirse como la relación entre la cantidad de radiaciones reflejadas por un material y la cantidad de energía recibida para una longitud de onda dada. Según la región del espectro electromagnético considerada, la reflectancia de un mismo material es variable (Vicent *et al.*, 1996: 24)

RENDER FARM (granja de renderizado): servicio, habitualmente de pago, basado en el trabajo cooperativo de varias computadoras conectadas en línea, un conjunto de CPUs que trabajan al unísono para renderizar imágenes que, de otra forma, podrían tardar días o incluso semanas en producirse.

RÉPLICA TIFLOLÓGICA: reproducción tangible de un objeto real que ha sido adaptada a personas con diverso grado de discapacidad visual. Ver también: tiflogía.

RESTAURACIÓN VIRTUAL: “Según los Principios de Sevilla (SEAV & FIAV, 2011), comprende la reordenación, a partir de un modelo virtual, de los restos materiales existentes con objeto de recuperar visualmente lo que existió en algún momento anterior al presente. La restauración virtual comprende por tanto la anastilosis virtual”.

RETOPOLOGÍA: el acto de recrear una superficie existente con una geometría más óptima. En Arqueología Virtual es habitual emplearla para generar mallas digitales menos pesadas, más sencillas y basadas en formas cuadradas o *quads*. Esto permite elaborar objetos digitales menos pesados y más fácilmente manipulables. Para conservar los rasgos morfométricos y el detalle del modelo original es necesario combinar la retopología con un proceso de *bakeado*. Ver también: *bakeado*, normal map, ambient occlusion map, height map, roughness map.

ROUGHNESS MAP (mapa de brillo): mapa de texturas encargado de controlar la nitidez de los reflejos, el brillo y la aspereza de un modelo tridimensional, habitualmente de baja densidad poligonal. Ver también: retopología.

SCRIPT: en informática, un script hace referencia a un archivo de órdenes, un programa usualmente simple que, por norma general, se almacena en un archivo de texto plano (.txt).

SGML: el lenguaje de marcado generalizado estándar o SGML (por sus siglas en inglés de Standard Generalized Markup Language) (SGML; ISO 8879: 1986) es un estándar para definir lenguajes de marcado generalizados para documentos

SIFT (Scale-invariant feature transform): es un algoritmo y proceso usado en fotogrametría para detectar puntos o características comunes entre pares de imágenes, lo que nos permite cotejar cientos de imágenes con el fin de extraer grandes cantidades de puntos comunes o puntos clave. El algoritmo fue publicado por primera vez por David Lowe en 1999.

STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES (SPSS): programa informático de estadística muy empleado en las ciencias sociales y humanidades.

STRUCTURE FROM MOTION: También conocida como Fotogrametría Multimagen Convergente, es un sistema fotogramétrico con alto grado de automatización que permite, a través de varias fotos no estructuradas de un objeto, generar un modelo tridimensional del mismo.

TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación): son todas aquellas herramientas, mecanismos y servicios fruto de la interacción entre la informática y las telecomunicaciones, que mejoran el procesamiento, almacenamiento y transmisión de la información y con ello la calidad de vida de las personas dentro de un entorno determinado.

TIFLOLOGÍA: es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las condiciones y problemáticas que rodean a las personas con diverso grado de discapacidad visual (invidentes e hipovidentes), con el objetivo de desarrollar soluciones para conseguir su plena integración laboral, social y cultural. Ver también: réplica tifológica.

TRANSFORMACIÓN A COMPONENTES PRINCIPALES: técnica muy utilizada en los procesos de imagen en general y en teledetección espacial particularmente. Esta

herramienta permite eliminar la información repetida o correlacionada. Esto se debe a que gran parte de la información que capta un sensor se repite en las diversas bandas espectrales (roja, Azul, Verde o la banda infrarroja). La TCP se encarga de generar nuevas bandas que no sólo son distintas entre sí, sino que también lo son de las que se han obtenido, lo que reduce la variabilidad de la información suministrada por el sensor. En el ámbito del arte rupestre, permite obtener información no visible de los paneles con pinturas (Vicent *et al.*, 1996: 31).

TRANSFORMACIÓN KARHUNEN-LOEVE: Esta técnica utiliza el análisis factorial para establecer un sistema de coordenadas ortogonales que abarca el espacio factorial de la biblioteca espectral de infrarrojos. Los vectores propios extraídos de este análisis se utilizan para transformar linealmente cada espectro individual en el sistema de coordenadas optimizado en el que la información espectral se concentra en los primeros ejes. Por lo tanto, cada espectro puede ser aproximado por una nueva representación de dimensión reducida. Usando la transformación Karhunen-Loeve, se logró una reducción de cinco veces en el tamaño del archivo de búsqueda y una reducción proporcional en el tiempo de búsqueda sin deterioro en el rendimiento (Hangac *et al.*, 1982: 41).

TRANSPARENCIA: en el ámbito de la arqueología virtual, hacer accesible toda la información relativa a la elaboración de un procedimiento de índole digital. Esto incluye no solo los parados, sino todas las herramientas y programas empleados para ello.

TRIANGULATED IRREGULAR NETWORK (TIN): Superficie compuesta por una red de triángulos formados por ternas de puntos cercanos no colineales.

VAT (vehículo aéreo no tripulado): en inglés UVA, también conocido como dron. Dispositivo aéreo de control remoto de dimensiones variables y empleado en Arqueología virtual para la documentación fotográfica y fotogramétrica de elementos o estructuras de gran tamaño.

8.3 Fichas de control y reportes fotogramétricos

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.3.1 Colección de Moldes de *Terra Sigillata* Hispánica

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.3.2 Colección de *Terra Sigillata* Hispánica

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.3.3 Colección de Cerámica Pintada Tradición Ibérica

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.3.4 Colección SAS Yucatán

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.3.5 Colección SAS Nevado de Toluca

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.3.6 Colección Centro Damián Bayón

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.3.7 Colección Proyecto Medialab “Conectados al pasado: modelos 3d de la colección didáctica del departamento de prehistoria y arqueología (UGR)”

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.4 Modelos tridimensionales (.obj)

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.5 Modelos laminados para impresión 3d (.gcode)

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

8.6 Videos

Para acceder a cada reporte o ficha acuda a la carpeta de anexos adjunta con la presente tesis. El sistema de carpetas sigue la misma nomenclatura que el siguiente apartado de anexos.

