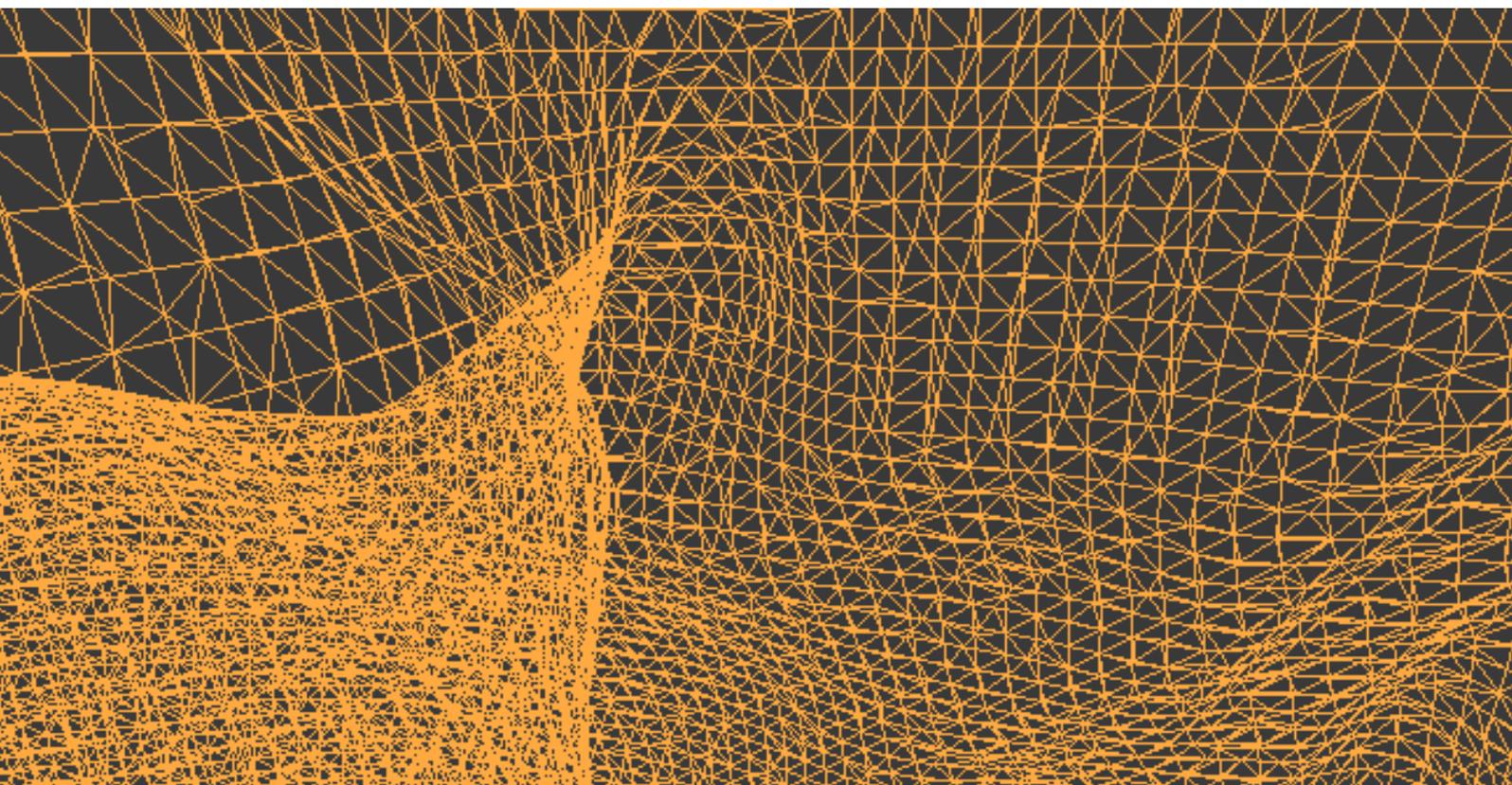


Análisis comparativo de diferentes sistemas de digitalización tridimensional aplicados a patrimonio escultórico

Caso de estudio: *La Fuente*, obra de Enrique Cejas Zaldívar



Autora: Elvira Isora García Vacas

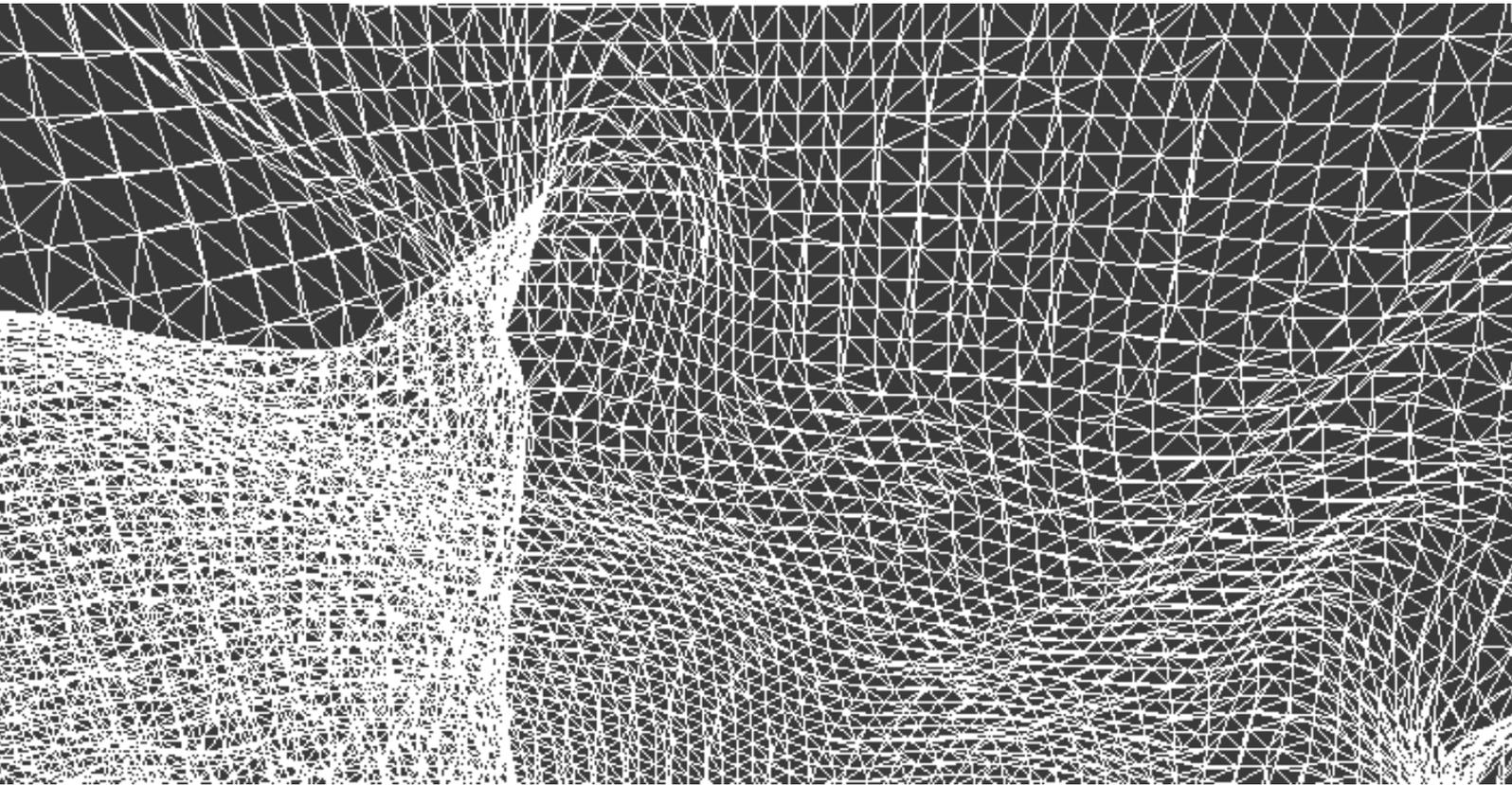
Tutor: Manuel Drago Díaz Alemán

Grado en Conservación y Restauración de B.B.C.C.

Curso 2017-2018

Análisis comparativo de diferentes sistemas de digitalización tridimensional aplicados a patrimonio escultórico

Caso de estudio: *La Fuente*, obra de Enrique Cejas Zaldívar



Elvira Isora García Vacas

Resumen

Existe un amplio abanico en cuanto a los diferentes métodos de digitalización tridimensional. En este caso, serán comparadas las técnicas fotogramétricas y los sistemas de escaneo 3D, con luz estructurada. Para ello, se utiliza una obra escultórica de Enrique Cejas Zaldívar denominada "La Fuente", por lo que, con la obtención del mejor de los modelos se podrá digitalizar la pieza. Por otro lado, el modelo será restaurado digitalmente mediante diferentes programas de modelado 3D y posteriormente será impreso en 3D para obtener una réplica de la obra, sin ningún tipo de deterioro.

Palabras clave

Digitalización tridimensional, Fotogrametría, Escáner 3D, Restauración digital, Impresión 3D, Escultura, Patrimonio, Nuevas tecnologías, Arte

Abstract

There is a wide range in terms of the different three-dimensional scanning methods. In this case, they will be compared photogrammetric techniques and 3D scanning systems with structured light. To do so, it will be used a sculptural work by Enrique Cejas Zaldívar called "La Fuente", so that the piece of art can be digitized using the best model of all. On the other hand, the model will be digitally restored through different 3D modeling programs and subsequently it will be printed in 3D in order to obtain a replica of the sculpture without any deterioration.

Key words

Three-dimensional digitalization, Photogrammetry, 3D scanner, Digital restoration, 3D printing, Sculpture, Heritage, New technologies, Art

Agradecimientos

Agradecer a mi tutor Manuel Drago Díaz Alemán, responsable del Laboratorio de Diseño y Fabricación Digital de la Universidad de La Laguna, por el apoyo prestado en este proyecto y su predisposición a la hora de supervisar este trabajo. Los contenidos de su asignatura, digitalizado tridimensional, han despertar mi interés en esta área.

A todo el resto del equipo que forma parte del FabLabULL, especialmente a su técnico, Esteban Manuel Amador García, el cual ha formado parte de este proyecto, iniciándome en el mundo del modelado 3D y ayudándome en el proceso de este trabajo.

Así como a los familiares de Enrique Cejas Zaldívar, por mostrarme parte de la vida y obra del escultor.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	10
2. PLANTEAMIENTO GENERAL	11
2.1. Justificación	11
2.2. Objetivos	11
2.3. Referentes	12
2.4. Metodología	13
2.5. Temporalización	14
3. CUERPO DEL TRABAJO	15
3.1. La digitalización del patrimonio tridimensional	15
3.1.1. <i>¿Qué es la digitalización 3D?</i>	16
3.1.2. <i>Ventajas y desventajas</i>	17
3.1.3. <i>Métodos de digitalización</i>	19
3.1.3.1. Técnicas fotogramétricas	19
3.1.3.2. Sistemas de escaneado 3D	20
3.1.3.2.1. Escáner de luz estructurada	21
3.1.3.2.2. Escáner láser	22
3.1.4. <i>Aplicaciones</i>	23
3.1.4.1. Documentación	23
3.1.4.2. Difusión	24
3.1.4.3. Impresión 3D	25
3.1.4.4. Conservación y restauración	26

3.2. Caso de estudio: La Fuente, obra de Enrique Cejas Zaldívar	28
3.2.1. <i>Enrique Cejas Zaldívar</i>	28
3.2.1.1. Su obra	29
3.2.1.2. La Fuente	30
3.2.2. <i>Digitalizado de la obra</i>	33
3.2.2.1. Digitalizado con fotogrametría, Powershot G12 de Canon	33
3.2.2.2. Digitalizado con escáner de luz estructurada, Eva de Artec 3D	38
3.2.2.3. Digitalizado con escáner de luz estructurada, EinScan-SP de Shining 3D	41
3.2.2.4. Comparativa de los diferentes métodos de digitalización	44
3.2.3. <i>Reconstrucción/Restauración digital</i>	51
3.2.4. <i>Impresión 3D</i>	54
4. RESULTADOS	57
5. CONCLUSIONES	60
6. BIBLIOGRAFÍA	61
7. ANEXOS	65

1. Introducción

Las técnicas de digitalización tridimensional han pasado a un nivel de utilización más popular gracias a que han aumentado en número y mejorado en calidad y coste, lo cual ha provocado que se conviertan en una herramienta cada vez más habitual en el ámbito del patrimonio cultural.

Por ello, el presente trabajo tiene por objetivo la digitalización de una obra escultórica de Enrique Cejas Zaldívar, escultor canario del siglo XX, el cual es conocido por su obra Monumento a los Caídos, ubicada en la Plaza de España de Santa Cruz de Tenerife.

Existe un amplio abanico en cuanto a los diferentes métodos de digitalización tridimensional, en este caso, se presentarán las técnicas fotogramétricas y los sistemas de escaneado 3D de luz estructurada; disponibles en el Laboratorio de Diseño y Fabricación Digital de la Universidad de La Laguna, los cuales serán comparados para la obtención del mejor de los resultados.

La obtención de un modelo tridimensional de una pieza escultórica aporta un gran número de posibilidades en cuanto a su uso. Desde su documentación para ser conservada, ser difundida por diferentes medios, llegando a un gran número de usuarios, o para realizar restauraciones digitales y réplicas exactas, con lo que no es necesario intervenir o tocar la obra original.

La obra utilizada para el caso de estudio ha sido digitalizada y restaurada digitalmente mediante diferentes programas de modelado 3D, para su posterior impresión 3D y obtener así, una réplica de la misma que nos muestra el estado original de la obra.

2. Planteamiento general

2.1. Justificación

Este trabajo nace por el interés en los avances y en las nuevas tecnologías aplicadas al patrimonio cultural, específicamente en las técnicas de digitalizado (tridimensional). Ya que observamos que se está extendiendo su uso como una herramienta más en este ámbito, propiciando mejoras en la difusión de las obras, en su catalogación y en su conservación y restauración digital, entre otras.

Para reflejar esta idea, se ha decidido digitalizar una obra escultórica de Enrique Cejas Zaldívar, denominada “La Fuente” mediante tres sistemas diferentes: fotogrametría, y dos tipos de escáner 3D de luz estructurada, para proceder a su posterior análisis y comparativa, determinando así las ventajas e inconvenientes de cada método y valorando con qué sistema se obtienen mejores resultados.

Exploraremos, además, algunas técnicas de restauración y reconstrucción digital, que nos permitan obtener resultados parciales sin necesidad de modificar la pieza original.

Gracias a documentación fotográfica obtenida, hemos podido conocer la presencia de un objeto faltante en la obra, por lo que, mediante su digitalizado, se podrá reconstruir virtualmente y también restaurar digitalmente las grietas que presenta.

Por último, se realizará una copia de la pieza restaurada digitalmente mediante impresión 3D, obteniendo un modelo físico a escala 1/1, que puede emplearse tanto para el estudio de la pieza como para su divulgación.

2.2. Objetivos

Como objetivo general de este trabajo, nos proponemos la aplicación de diferentes técnicas de digitalización tridimensional de la obra escultórica de Enrique Cejas Zaldívar, con la finalidad de documentar sus medidas y el estado general del objeto, al mismo tiempo que obtener un archivo digital que, siendo un fiel reflejo de su geometría, sea susceptible de ser utilizado como medio para su divulgación.

Como objetivos específicos, se han llevado a cabo los siguientes procesos:

- Digitalizar la obra mediante técnicas fotogramétricas y sistemas de escaneado 3D de luz estructurada.
- Hacer una comparativa de los diferentes digitalizados, y así obtener el mejor de los resultados para documentar la obra.
- Reconstruir y restaurar digitalmente la pieza, mediante programas de modelado 3D.
- Imprimir la obra restaurada a escala, para su estudio y/o divulgación.

2.3. Referentes

Este trabajo se ha referenciado, principalmente, en un gran número de artículos y publicaciones, así como en textos de revistas, que tratan sobre la digitalización tridimensional, toda vez que no se encuentran libros editados que aborden este tema, por tratarse de una técnica relativamente reciente.

La *Virtual Archaeology Review* (VAR) es una revista científica, que partiendo de un punto de vista que mezcla arte e ingeniería, investiga el nuevo campo de la arqueología virtual. Es ampliamente interdisciplinaria, y publica trabajos académicos en los campos de conservación, documentación, informática y otras disciplinas relacionadas con el patrimonio y la arqueología.

Por otro lado, la revista TELOS: Cuadernos de Comunicación e Innovación (<https://telos.fundaciontelefonica.com/>), actualmente integrada en Fundación Telefónica, es una publicación pionera en el campo de las nuevas tecnologías.

Otros autores también han publicado artículos y proyectos sobre la digitalización tridimensional y sus diferentes aplicaciones. Sobresale José Manuel Pereira Uzal (<http://www.jpereira.net/>), restaurador de patrimonio cultural, documentalista y fotógrafo; experto en tecnologías de la imagen y en su aplicación al patrimonio cultural.

La parte documental sobre la pieza escultórica, así como la dedicada a su autor, Enrique Cejas, se ha obtenido, en su mayor parte, del libro escrito por el catedrático en Historia del Arte, Carlos Pérez Reyes, que lleva por título: “Escultura canaria contemporánea (1918-1978)”, donde se describe la biografía del artista, incluyéndose un listado de sus obras.

También hay que reseñar el artículo escrito por Nuria González González, historiadora del arte y musicóloga, incluido en los “Anales de 2015 de la Real Academia Canaria de Bellas Artes de San Miguel Arcángel, Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986): La angustia expresionista de un hombre tranquilo”.

Gracias a la bibliografía contenida en estos dos documentos, se ha podido ampliar la información a través del hallazgo de diferentes artículos de prensa escrita, especialmente de los periódicos tinerfeños “La Tarde” y “El Día”. Hay que destacar de forma especial por su importancia en esta investigación un artículo publicado en el semanario deportivo “Aire Libre”, que muestra la obra de estudio, aportando información sobre la denominación de la citada escultura.

En el apartado de la documentación, ha tenido protagonismo una página web creada en el año 2015, conmemorando el centenario del nacimiento del artista (<https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>), y de la que se obtuvieron fotografías de la obra de estudio, así como información de interés sobre el escultor.

Por último, ha resultado muy fructífera la visita a uno de los sobrinos del autor: Antonio Cejas Rodríguez, visita que ha servido para poder acceder a una gran parte de las obras realizadas por el artista, y también para conocer de primera mano información sobre su vida y obra.

2.4. Metodología

Para la realización de este proyecto se ha seguido el siguiente plan de trabajo, el cual se ha ido desarrollando a medida que se ha ido avanzando en él. La temporalización de esta metodología queda reflejada en el siguiente apartado, 2.5. Temporalización.

En primer lugar, y durante la elaboración de la memoria, se ha realizado una búsqueda bibliográfica de referencia.

- De la vida y obra de Enrique Cejas Zaldívar, así como una búsqueda intensiva sobre la obra de estudio, "La Fuente".
- Sobre la digitalización tridimensional, los diferentes sistemas de digitalizado, sus aplicaciones, etc.; y más específicamente, sobre la fotogrametría y los escáneres 3D.

Para poder digitalizar la pieza ha sido necesario el aprendizaje de los diferentes tipos de escáner, cada uno con su metodología propia, y la realización de diferentes pruebas para su posterior estudio comparativo, posibilitándose de este modo la obtención de óptimos resultados en los escaneados.

- Mediante el escáner 3D de luz estructurada, *EinScan-SP* de *Shining 3D*.
- Mediante el escáner 3D de luz estructurada, *Eva* de *Artec 3D*.
- Mediante fotogrametría con cámara fotográfica, *Powershot G12* de *Canon*.

Una vez realizado el estudio comparativo de los diferentes tipos de digitalizado, se elige el más preciso para, sobre él, restaurar virtualmente la obra, eliminando sus grietas; procediendo también a reconstruir la pieza faltante: el cántaro, mediante programas de modelado 3D, en este caso *ZBrush* y *Substance Painter*.

Concluimos con la impresión 3D de la obra en ácido poliláctico (PLA) de color *Concrete Grey*, en la impresora *Ultimaker² Extended+*. Obteniendo así, una réplica de la misma, que nos mostraría el estado original de la obra.

2.5. Temporalización

La siguiente tabla muestra la temporalización de la metodología seguida, para la realización de este trabajo.

Actividad	Meses						Observaciones
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
Búsqueda bibliográfica							Visita a Antonio Cejas Rodríguez
Escaneado con <i>EinScan-SP</i>							Estudio del escáner
Escaneado con <i>Eva</i>							
Fotogrametría con <i>Powershot G12</i>							
Estudio comparativo							
Reconstrucción digital							
Impresión 3D							42 horas
Elaboración de la memoria							
Entrega y presentación del TFG							Entrega: 6 julio Presentación: 13 julio

3. Cuerpo del trabajo

3.1. La digitalización del patrimonio tridimensional

El patrimonio, y todo aquello relacionado con su restauración y conservación, no escapa al continuo y extendido proceso de digitalización que en la actualidad tiende a abarcar todos los ámbitos de la producción científica. Por ello, a partir de estas nuevas tecnologías y de estas -también nuevas- necesidades de la sociedad en la que vivimos, se ha de desarrollar un nuevo estudio de la conservación y restauración de las obras. En un mundo digital, con todas las posibles aplicaciones que presenta, se han de incorporar las novedades tecnológicas no sólo como herramienta útil para el trabajo del conservador-restaurador, sino como herramienta clave para la recuperación y puesta en valor de la obra de arte.¹

Tan es así, que la aplicación de la digitalización en el ámbito de la comunicación del patrimonio cultural ha cambiado de forma evidente y progresiva la lógica de la difusión cultural, proponiendo una nueva forma de construir y producir los contenidos culturales, junto a una nueva forma de difundirlos y consumirlos.²

La aparición de políticas dirigidas a la virtualización y digitalización es relativamente reciente. Como norma general, no es hasta la última década del siglo XX que la captura de imágenes digitales para la gestión y difusión del patrimonio cultural adquiere un carácter primordial en las instituciones (museos, archivos, bibliotecas) y en la industria de conservación y preservación del patrimonio.

En la actualidad, la Comisión Europea (CE) promueve acciones dirigidas a la digitalización de elementos patrimoniales, a la puesta en la red de objetos culturales, como imágenes digitales de libros, documentos de archivos, fotografías, pinturas o esculturas conservadas en los museos, vídeos, entre otros. Por ello, apuesta por la consolidación de iniciativas como *Europeana* o *MICHAEL* (*Multilingual Inventory of Cultural Heritage in Europe*).³

¹ ESCRIVA ESTEVAN, F; MADRID GARCÍA, J. A. El mundo virtual en la restauración. Aplicaciones virtuales para la conservación y restauración del patrimonio. *ARCHÉ: Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPPV*, 2009-2010, nº4-5, p. 11-20.

² MATEOS RUSILLO, S. M. Innovación en la comunicación global del patrimonio cultural: TIC. *Revista Patrimonio Cultural de España*, 2010, nº4, p. 115-127.

³ VIVES, J. (coord.); ALBERCH, R; ALVÁREZ, J; CUEVAS, A. et al. *Digitalización del patrimonio: archivos, bibliotecas y museos en la red*. 1ª Ed. Barcelona: UOC, 2009.

3.1.1. ¿Qué es la digitalización 3D?

La digitalización tridimensional se podría definir como el proceso de generación de un modelo informático tridimensional de un objeto⁴; o más técnicamente, como la descripción numérica de una superficie a partir de un conjunto de puntos medidos por diferentes técnicas⁵, o una fusión de estas, de modo que se trata de un proceso de conversión analógico-digital.⁶

Siendo indiferente el uso de cualquier tipo de estas tecnologías, la digitalización implica una toma de datos del objeto y un procesamiento informático de los mismos, para poder generar tanto imágenes y animaciones, como para realizar cálculos, estudiar sus propiedades o editarlo. Pero se ha de tener en cuenta, que el tipo de tecnología sí condiciona los resultados obtenidos.⁷

Las técnicas de digitalización 3D son una herramienta cuyo uso se ha visto incrementado en los últimos años, convirtiéndose cada vez más habitual en la documentación del patrimonio cultural. Han aumentado en número y mejorado en precisión, calidad y coste, pasando a un nivel de utilización más popular,⁸ no sólo por parte de investigadores y restauradores, sino también como elementos para la difusión al público general de las obras de arte, los yacimientos arqueológicos y los monumentos históricos.⁹

La amplitud de este término y sus diferentes métodos de aplicación, así como calidades, hacen que se trate de una ciencia con un gran potencial por explotar, ya que la digitalización del patrimonio es esencial para su catalogación y estudio.¹⁰

⁴ TORRES, J.C; CANO, P; MELERO, J; ESPAÑA, M. et al. Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio [en línea]. *Virtual Archeology Review*, 2010, vol. 1 nº1, p.51-54. [Consulta: 13-03-2018]. Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4768>

⁵ PEREIRA UZAL, J. M. Digitalizar vs. Modelar [en línea]. [Consulta: 03-04-2018]. Disponible en: <http://www.jpereira.net/apuntes-breves/digitalizar-vs-modelar>

⁶ COLOMO, C; PÉREZ, J. L; GÓMEZ J. M; ROSALES, F. J. Metodología y Aplicación práctica para la digitalización de patrimonio cofrade mediante la fusión de datos de láser escáner y fotogramétricos. En 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation "ARQUEOLÓGICA 2.0" [en línea]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016, p. 110-117. [Consulta: 06-05-2018]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/85570>

⁷ PEREIRA UZAL, J. M. *Op. cit.*

⁸ TORRES, J.C; CANO, P; MELERO, J; ESPAÑA, M. et al. *Op. cit.*

⁹ ORTIZ CODER, P. Museo Virtual Hiperrealista [en línea]. *Virtual Archaeology Review*, 2012, vol. 3 nº7, p.23-26. [Consulta: 10-05-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4341373>

¹⁰ *Ibid.*

3.1.2. Ventajas y desventajas

Las técnicas de digitalización del patrimonio cultural deben jugar un papel importante, siempre que se entiendan como una herramienta más que añadir a las tradicionales y se utilicen cuando sean el medio idóneo para ello, ya que estas pueden considerarse un riesgo si se malinterpreta su papel.¹¹ Por ello, a continuación, se exponen las ventajas y desventajas que pueden estar presentes en este ámbito.

Las ventajas¹² que ofrece el uso de las técnicas de digitalización pueden ser, entre otras:

- Aportan mayor cantidad y calidad de información en el proceso de documentación.
- Facilitan la difusión del patrimonio a partir de los procesos de documentación; permitiendo generar productos multimedia aptos para su divulgación en diferentes dispositivos.
- Facilitan la custodia de la obra, ya que no se requiere de un espacio físico, como en el caso de las copias tradicionales, por tratarse de un archivo digital.¹³
- Aumentan el conocimiento del bien al disponerse de información métrica y colorimétrica, en su conjunto, posibilitando análisis e interpretaciones exhaustivas de la obra.
- Son técnicas rápidas, y sobre todo precisas, que permiten analizar y monitorizar las obras a lo largo del tiempo.
- Permiten trabajar sin contacto sobre la obra, evitando así agresiones que dificultarían su conservación.
- Permiten digitalizar obras de arte en el lugar donde se encuentran, a fin de garantizar su preservación.

¹¹ MATEOS RUSILLO, S. M. *Op. cit.*

¹² DE VICENTE DOMÍNGUEZ, A. M. Nuevas formas de enculturización. Aportaciones de la digitalización a las artes plásticas [en línea]. *TELOS*, 2011, nº88, p.86-91 [Consulta: 15-05-2018]. Disponible en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/url-direct/pdf-generator?tipoContenido=articuloTelos&idContenido=2011072712570001&idioma=es>

¹³ COLOMO, C; PÉREZ, J. L; GÓMEZ J. M; ROSALES, F. J. *Op. Cit.*

Pero, por otro lado, también pueden generar diferentes tipos de desventajas o inconvenientes:

- El desarrollo de la digitalización y difusión de obras de arte puede generar inconvenientes en lo relacionado con los derechos de autor y propiedad intelectual,¹⁴ generando dificultades a la hora de que los titulares presten su consentimiento en la digitalización y explotación de sus obras.¹⁵
- Varios autores¹⁶ consideran que con la digitalización se produce un deterioro de la obra de arte, debido a que se ha destituido la autoridad del arte, siendo los medios de comunicación los que han hecho que las imágenes artísticas sean efímeras, ubicuas, carentes de corporeidad, accesibles y sin valor.
- La custodia de la obra en formato digital puede verse afectada por daños informáticos, que pueden llevar a la pérdida total del contenido o a la imposibilidad de abrir el archivo.¹⁷ Esto podría solventarse con el guardado de los archivos en una base de datos *online*.
- Para obras de arte que se encuentren ubicadas en un mal entorno de trabajo, de modo que no sea posible su desplazamiento, existe una mayor dificultad para la captura de datos, no siendo siempre posible la realización de un buen digitalizado de la obra.¹⁸
- La digitalización ha de ser un procedimiento técnico que no aporte creatividad, ya que el uso de estas técnicas no otorga ningún derecho a quien hace la reproducción.¹⁹ Esto nos lleva a que puedan existir malas digitalizaciones, que pueden distorsionar en la visión de la pieza original.²⁰

Concluimos, por tanto, que se ha de tener cuidado a la hora de digitalizar obras de arte, ya que estos digitalizados han de reunir unos requisitos mínimos para que puedan servir en su labor. Con todo, digitalizar las obras de arte, siempre es un beneficio para su documentación y difusión.

¹⁴ El pensante. Digitalización en la actualidad [en línea]. Bogotá: E-Cultura Group, 2016. [Consulta: 11-06-2018]. Disponible en: <https://educacion.elpensante.com/desventajas-de-la-digitalizacion/>

¹⁵ RAMOS SIMÓN, L. F. Lo viejo y lo nuevo: el patrimonio cultural digitalizado. Preguntas de investigación. En *VI Jornada Profesional de la Red de Bibliotecas del Instituto Cervantes: La investigación española en Documentación: ¿en qué liga jugamos?* [en línea]. Madrid: 2013. [Consulta: 06-05-2018]. Disponible en:

http://www.cervantes.es/imagenes/File/ponencia_fernando_ramos_rbic.pdf

¹⁶ DE VICENTE DOMÍNGUEZ, A. M. *Op. cit.*

¹⁷ El Pensante. *Op. cit.*

¹⁸ COLOMO, C; PÉREZ, J. L; GÓMEZ J. M; ROSALES, F. J. *Op. cit.*

¹⁹ RAMOS SIMÓN, L. F. *Op. cit.*

²⁰ DE VICENTE DOMÍNGUEZ, A. M. *Op. cit.*

3.1.3. Métodos de digitalización

Los sistemas de medición óptica de corto alcance son las principales técnicas de digitalización tridimensional para obras de arte. Estos métodos se fundamentan en el principio de triangulación conocido desde el siglo XI a.C.

Se pueden diferenciar entre sistemas activos, que proyectan algún tipo de luz sobre el objeto; y sistemas pasivos, que funcionan con luz ambiental. Los sistemas activos más comunes son los escáneres de luz estructurada y los escáneres láser, mientras que el sistema pasivo más popular es la fotogrametría.

También los sistemas de medición pueden diferenciarse por tener una longitud de base fija para la triangulación, la cual se calibra antes de la toma de datos, o una longitud de base variable, que se establece durante el procesamiento de los datos.²¹

3.1.3.1. Técnicas fotogramétricas

Las técnicas fotogramétricas basan la obtención de la geometría del objeto de estudio, en la reconstrucción de la posición de fotografías y en la detección de sus puntos homólogos, de manera que se reconstruye su posición tridimensional a partir de la información bidimensional de fotografías.²² Estas tomas fotográficas contienen toda la información necesaria acerca de la posición relativa en el espacio de cada uno de los puntos del objeto, al resultar visible simultáneamente desde diferentes capturas.²³

En la toma de las fotografías, cuando la luz llega al sensor de la cámara, esta es muestreada por la matriz de nuestro sensor, cuantificada y posteriormente codificada en términos digitales para generar una imagen ráster²⁴.²⁵ Las fotografías se han de tomar desde diferentes ángulos y posiciones las cuales se solapan entre ellas.²⁶

²¹ MOITINHO DE ALMEIDA, V; RIEKE-ZAPP, D. Generación de datos 3D con sistemas ópticos de medición de corto alcance. En JIMÉNEZ-BADILLO, D. *Arqueología Computacional: Nuevos enfoques para la documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural*. 1ª ed. Ciudad de México: Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2017, p.93-109.

²² COLOMO, C; PÉREZ, J. L; GÓMEZ J. M; ROSALES, F. J. *Op. cit.*

²³ MATTEINI, M.; MOLES, A. *Ciencia y restauración: método de investigación*. Hondarribia: Nerea, 2001.

²⁴ Imagen ráster de píxeles, es una estructura de datos que representa una rejilla rectangular de píxeles denominada matriz, que se puede visualizar en un monitor, papel u otro dispositivo de representación. Wikipedia. Imagen de mapa de bits [en línea]. 2013 [Consulta: 21-05-2018]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_de_mapa_de_bits

²⁵ PEREIRA UZAL, J. M. *Op. cit.*

²⁶ CARO, J. L. Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. En *IX Congreso Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TuriTec'2012)* [en línea]. Málaga: Universidad de Málaga, 2012. [Consulta: 10-04-2018]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/272166840_Fotogrametria_y_modelado_3D_un_caso_practico_para_la_difusion_del_patrimonio_y_su_promocion_turistica

A partir de estas imágenes, mediante un software específico, se describe numéricamente la superficie del objeto fotografiado, mediante algoritmos de detección de características en común entre cada imagen y el cálculo de la posición y orientación de cada toma, para poder generar el modelo, basado en información tridimensional.²⁷ Este modelo no posee medidas reales, pero sí tiene medidas relativas, las cuales pueden transformarse a las medidas reales.²⁸

Existen, actualmente, un gran número de *software* de modelado tridimensional automatizado, que se sirven de técnicas fotogramétricas, como *Photoscan* de *Agisoft*, *Photomodeler* de *Eos Systems* o *123Catch* de *Autodesk*.

“Los avances en visión artificial han lanzado al mercado nuevas propuestas de modelado tridimensional, como *Structure from Motion* (SfM). Esta técnica se basa en la manera de visión humanos o animales reconstruyen estructuras tridimensionales a partir de imágenes 2D proyectadas en la retina, gracias al movimiento de estas estructuras respecto al observador, o de éste respecto a aquellas. [...] Es ahora cuando comienzan a aparecer programas consistentes capaces de resolver modelos 3D complejos con una cierta eficacia y agilidad.”²⁹

El uso de la fotogrametría hace posible generar modelos tridimensionales muy fiables a la realidad, sin la necesidad de tener que usar otras herramientas de precio mayor. Ya que, incluso es posible la utilización de fotografías realizadas con una cámara no calibrada para conseguir modelos con altas garantías.

3.1.3.2. Sistemas de escaneo 3D

Existe una gran variedad de escáneres 3D, dependiendo de la tecnología empleada por cada uno de ellos. Sin embargo, todos realizan el mismo trabajo, tomar un conjunto de datos de un objeto, lo suficientemente completo, para determinar su estructura geométrica y/o colorimétrica.³⁰

Entre los sistemas de escaneo 3D destacan dos tipologías diferenciadas, los sistemas de luz estructurada, también llamado de proyección de franjas y los sistemas de escáner láser. En ambos casos son técnicas no invasivas con las que se generan modelos de nubes de puntos 3D de alta calidad con unos valores de resolución y de precisión muy elevados.³¹

²⁷ MORITA, M. M; BILMES, G. M. Técnicas de registro 3D para documentación de objetos patrimoniales [en línea]. XII Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio, Argentina: 2015. [Consulta: 07-06-2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305765889_TECNICAS_DE_REGISTRO_3D_PARA_DOCUMENTACION_DE_OBJETOS_PATRIMONIALES

²⁸ CARO, J. L. *Op. cit.*

²⁹ PEREIRA UZAL, J. M; ROBEDANO ARILLO, J. Uso de tecnologías 3D en la digitalización y difusión de documentos de alto valor patrimonial [en línea]. *El profesional de la información*, 2013, vol. 22 n°3, p.215-223. [Consulta: 13-04-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4258448>

³⁰ *Ibid.*

³¹ DÍAZ GÓMEZ, F; JIMÉNEZ PEIRÓ, J; BARREDA BENAVENT, A; ASENSI RECUENCO, B. et al. Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual [en línea]. *Virtual Archaeology Review*, 2015, vol. 6 n°12, p.29-37. [Consulta: 07-05-2018]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/98106>

3.1.3.2.1. Escáner de luz estructurada

El escáner de luz estructurada es un sistema de digitalización tridimensional sin contacto, el cual basa la reconstrucción geométrica del objeto en la proyección de un patrón de luz sobre el mismo y su registro en un sistema de adquisición.³²

En el proceso de escaneado, la proyección de luz sigue un patrón con una secuencia binaria (ej. líneas paralelas, blancas y negras) que generalmente se desplaza linealmente, y una cámara³³ captura las imágenes del patrón de franjas, para cada posición sobre el objeto.³⁴ La captación y el análisis de los datos se controlan mediante un software especializado, el cual procesa los datos y proporciona una imagen 3D del objeto.³⁵

El escáner generalmente emite luz del espectro visible. Pero muchos sistemas industriales modernos de proyección de franjas utilizan una luz azul, ya que ésta ofrece mejores resultados en objetos semitransparentes o reflectantes. Sin embargo, para un escaneo general, es mejor utilizar una fuente de luz blanca.

Los sistemas de escaneado con cámaras a color permiten capturar al mismo tiempo, además de la forma, el color, lo cual es una gran ventaja para muchas aplicaciones en el patrimonio cultural.³⁶

- **Sistema básico de luz estructurada**

Un sistema básico de luz estructurada proyecta sobre el objeto un solo patrón binario, aleatorio, que es captado por al menos dos cámaras. Con el fin de calcular las coordenadas 3D del objeto se aplican técnicas de correlación de imagen para identificar puntos o zonas homólogos en las imágenes.

Debido a que el número de puntos utilizados para el cálculo de coordenadas 3D es significativamente menor que la cantidad total de píxeles del sensor, la resolución de los datos obtenidos es mucho menor que la resolución de las imágenes originales. Eso quiere decir que detalles finos de la escena son capturados con una fidelidad moderada.

- **Sistema de proyección de franjas**

Un tipo especial de escáner de luz estructurada utiliza la técnica de proyección de franjas, la cual consiste en proyectar una variación de múltiples franjas de onda sinusoidal sobre la superficie del objeto. La cámara registra los patrones de luz proyectados, que pueden consistir en diferentes combinaciones de cierto patrón codificado y franjas, o de una variedad de franjas de luz con diferentes fases.

³² COLOMO, C; PÉREZ, J. L; GÓMEZ J. M; ROSALES, F. J. *Op. cit.*

³³ Casi siempre, el sistema incluye una segunda cámara con lo cual pueden efectuarse mediciones estereográficas que producen mejores resultados de escaneo.

³⁴ MORITA, M. M; BILMES, G. M. *Op. cit.*

³⁵ MOITINHO DE ALMEIDA, V; RIEKE-ZAPP, D. *Op. cit.*

³⁶ *Ibid.*

Un sistema de proyección de franjas brinda una sola lectura 3D por pixel y resuelve los detalles finos con muy alta exactitud y resolución.³⁷

3.1.3.2.2. Escáner láser

Los sistemas de escáner láser proyectan un haz láser sobre un objeto, mientras una cámara va registrando la deformación de esta línea reflejada en el objeto, al tiempo que se va desplazando. Un *software* interpreta estas deformaciones en forma de coordenadas tridimensionales y genera un modelo matemático basado en información tridimensional.³⁸ Independientemente del principio de funcionamiento y de la tecnología utilizada, los escáneres láser crean una distribución de puntos medidos sobre la superficie del objeto, y opcionalmente información de color en los puntos.

Estos se dividen en dos grupos fundamentales, en función del tipo de medición utilizada y de las aplicaciones que pueden cubrir cada uno.

- **Sistemas de proyección de línea láser**

Se basan en la proyección de una línea de luz láser y tienen un rango operativo similar al de los sistemas de proyección de franjas. Estos disponen de una fuente de luz láser que proyecta una línea sobre el objeto que, mediante elementos mecánicos, barre el objeto a medir. Una cámara recoge la deformación de dicha línea al proyectarse sobre el objeto.

Mediante el análisis de imagen de la deformación de dicha línea según va desplazándose sobre la superficie del objeto, y teniendo parametrizado dicho desplazamiento, se obtiene la información geométrica del objeto a digitalizar.

- **Sistemas de proyección de punto**

La medición se realiza proyectando un haz de luz láser puntual sobre la superficie del objeto a medir, obteniendo la distancia desde el sistema hasta dicho punto de proyección. Para la obtención del modelo, el sistema de medida gira respecto a la vertical, mientras que un espejo hace girar el haz de luz láser que sale de la fuente, de forma que, con estos dos giros, se cubre toda la esfera de medición del sistema de digitalización.

Además, los sistemas de digitalización por escaneado láser permiten realizar una lectura de color de la escena escaneada, gracias a una cámara fotográfica de alta resolución que llevan incorporada, asociando coordenadas RGB al punto geométrico medido, mediante la proyección de fotografías sobre la nube de puntos capturada.³⁹

³⁷ *Ibid.*

³⁸ MORITA, M. M; BILMES, G. M. *Op. cit.*

³⁹ DÍAZ GÓMEZ, F; JIMÉNEZ PEIRÓ, J; BARREDA BENAVENT, A; ASENSI RECUENCO, B. et al. *Op. cit.*

3.1.4. Aplicaciones

El potencial de la digitalización, como de cualquier otra técnica, para identificar y valorar el patrimonio cultural aumenta cada día. Sus consecuencias para el desarrollo cultural son destacadas, ya que, gracias a los nuevos dispositivos, el ámbito del patrimonio cultural se amplía considerablemente.⁴⁰

Estas múltiples técnicas permiten obtener resultados acordes, tanto a las exigencias de la difusión, como a las necesidades específicas de cada una de las disciplinas que intervienen en la conservación misma del bien y en su interpretación.⁴¹

3.1.4.1. Documentación

La conservación de nuestro patrimonio cultural es una tarea muy importante, que ha visto incrementar en gran medida sus posibilidades, gracias a los avances tecnológicos de los últimos años. La digitalización 3D es definitivamente uno de ellos, ya que nunca había sido tan fácil y rápido obtener un modelo.

La digitalización de piezas en 3D ofrece muchas ventajas, incluidas su documentación y clasificación en catálogos, repositorios y bases de datos, su medición y análisis precisos, su uso compartido con la comunidad de investigadores, etc. Pero lo más importante, la preservación de estos objetos para generaciones futuras⁴²

Por todo ello, el modelo digital constituye un detallado documento gráfico tridimensional, que puede permitir saber cómo era el objeto en un momento dado. Esta documentación es especialmente valiosa cuando se va a realizar alguna intervención en el elemento, ya que constituye un registro tridimensional de la superficie del objeto, que permitiría reconstruirlo en caso de desastre.⁴³

⁴⁰ GREFFE, X. Los efectos de la digitalización del patrimonio cultural: ¿Hacia un turismo creativo? [en línea]. *TELOS*, 2016, nº102, p.94-96 [Consulta: 06-05-2018]. Disponible en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/url-direct/pdf-generator?tipoContenido=articuloTelos&idContenido=2015110316520001&idioma=es>

⁴¹ RODRIGUEZ SILGO, A. Digitalización y virtualización del patrimonio cultural. Hacia un nuevo horizonte en la conservación-restauración [en línea]. *TELOS*, 2016, nº102. [Consulta: 27-03-2018]. Disponible en: https://telos.fundaciontelefonica.com/seccion=1268&idioma=es_ES&id=2015110316500003&activo=6.do

⁴² CREAFORM. Conservación del patrimonio [en línea]. [Consulta: 25-06-2018]. Disponible en: <https://www.goscan3d.com/es/applications/conservacion-del-patrimonio>

⁴³ TORRES, J.C; CANO, P; MELERO, J; ESPAÑA, M. et al. *Op. cit.*

3.1.4.2. Difusión

La difusión del patrimonio constituye uno de los aportes clave de las nuevas tecnologías. Se trata del conjunto de acciones encaminadas a darlo a conocer, poniendo los medios y los instrumentos precisos para que sea apreciado, valorado y disfrutado por el mayor número de personas.⁴⁴

La aplicación del modelado 3D para la difusión es un tema, por tanto, que está a la orden del día, destacando su inclusión en diferentes documentos estándar, dispositivos en el interior de los museos, accesibles a través de la web e incluso adaptables a sistemas de realidad aumentada, que aportan un grado más de percepción del patrimonio.⁴⁵

La existencia de múltiples posibilidades de exposición y el avance tecnológico hacen de este tipo de exposiciones una realidad, al verse disminuido el coste y aumentada la calidad de los modelos 3D.⁴⁶

La difusión de piezas digitalizadas en los museos ha avanzado notablemente, aportando un gran abanico de posibilidades para la interacción con los visitantes. Es posible también difundir éstas a través de internet o de cualquier otro medio (pantallas táctiles en museos, exposiciones virtuales, restauraciones digitales, animaciones y material didáctico 3D, etc.).⁴⁷

En este sentido, las nuevas tecnologías, han redefinido el concepto tradicional del patrimonio, ya que al mostrar formas tridimensionales en lugar de simples fotografías la experiencia alcanza un nivel superior.⁴⁸

Por otro lado, en lo que respecta a la difusión cultural en la red de Internet, ayudan a trasladar determinados contenidos culturales asociados al patrimonio cultural, ampliando sus posibilidades comunicativas, al ser capaces de llegar a un gran número de usuarios en comparación con los medios tradicionales de documentación.

Gracias a Internet es posible tener acceso a contenidos culturales desde cualquier sitio y en cualquier momento, lo que permite aumentar exponencialmente el poder de difusión cultural.⁴⁹ Mediante exposiciones de realidad virtual aumentada en casa, viajes interactivos inmersivos en 3D, proyecciones 3D, etc. Además, un primer contacto virtual con una obra es un excelente estímulo para la visita a la obra real y una excelente preparación para entenderlo en su totalidad.⁵⁰

⁴⁴ BELLIDO, M. L. El binomio patrimonio-tecnologías: nuevos desafíos. [en línea]. Revista *PH*, 2003, nº46, p. 44-45. [Consulta: 05-04-2018]. Disponible en: <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/1628#.Wz6zTNJKi00>

⁴⁵ CARO, J. L. *Op. cit.*

⁴⁶ ORTIZ CODER, P. *Op. cit.*

⁴⁷ *Ibid.*

⁴⁸ CREAFORM. *Op. cit.*

⁴⁹ MATEOS RUSILLO, S. M. *Op. cit.*

⁵⁰ RODRIGUEZ SILGO, A. *Op. cit.*

3.1.4.3. Impresión 3D

Las técnicas tradicionales de obtener réplicas representan una manera de trabajar costosa y lenta. Además, en muchos casos no es posible el uso de moldes por la fragilidad del objeto que se ha de reproducir. Debido a estas dificultades, desde hace años se intenta mejorar este procedimiento mediante la incorporación de tecnologías digitales que sean útiles para crear modelos 3D computacionales.⁵¹

Actualmente, una vez que se encuentra digitalizada una obra, se puede realizar la reproducción física de la réplica mediante la impresión 3D. Esta tecnología de impresión 3D permite realizar copias a escala o a tamaño real de las obras. De esta forma es posible realizar maquetas de gran fidelidad, así como réplicas completas.

Para que la réplica tenga calidad y se trate de un objeto de estudio, es necesario que el modelo 3D, además de tener el nivel de precisión exigido para el fin que va a tener la maqueta, sea geoméricamente correcto y defina un sólido válido.⁵²

Las piezas digitalizadas se pueden reproducir para permitir que, por ejemplo, personas con discapacidad visual puedan disfrutar el patrimonio, ya que, a pesar de no poder tocar las piezas originales, estarán sintiendo reproducciones de alta precisión geométrica. Cualquier visitante podría tocar, experimentar y comprender mejor los objetos del patrimonio.

La impresión 3D abre un mundo de posibilidades aplicando la tecnología de virtualización tridimensional al patrimonio cultural. Ambas tecnologías tienen una gran aplicación en el ámbito de la accesibilidad al patrimonio, suponiendo toda una revolución para el acceso visual y háptico.⁵³

⁵¹ SAORÍN, J. L.; DE LA TORRE, J; MEIER, C; MELIÁN, D. et al. Creación, visualización e impresión 3D de colecciones online de modelos educativos tridimensionales con tecnologías de bajo coste. Caso práctico del patrimonio fósil marino de Canarias [en línea]. *Education in the Knowledge Society*, 2016, vol. 17 n°3, p.89-108. [Consulta: 20-03-2018]. Disponible en: [https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/132126/1/Creacion%2c visualizacion e impresion 3 D d.pdf](https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/132126/1/Creacion%2c%20visualizacion%20e%20impresion%203D%20d.pdf)

⁵² TORRES, J.C; CANO, P; MELERO, J; ESPAÑA, M. et al. *Op. cit.*

⁵³ MARQUÉS, N. F. Impresión 3D para sentir el patrimonio. Patrimonio Virtual y Divulgación Cultural [en línea]. [Consulta: 21-06-2018]. Disponible en: <http://nestormarques.com/impresion-3d-para-sentir-el-patrimonio/>

3.1.4.4. Conservación y restauración

El modelo digital constituye un detallado documento gráfico tridimensional, que puede permitir saber cómo era un objeto en un momento dado.⁵⁴ Esta documentación es especialmente valiosa cuando se va a realizar alguna intervención en el elemento, ya que constituye un registro tridimensional de la superficie del objeto.⁵⁵

A raíz de la restauración digital, no es necesario intervenir o tocar la obra original, por lo que se trata de una técnica más respetuosa con los objetos originales, exceptuando aquellas obras que necesiten de una intervención real para detener o prevenir su degradación.⁵⁶ Actualmente, esto supera las técnicas tradicionales más agresivas, tales como el vaciado de obras de arte (para su reproducción) o la reintegración (para su restauración), pese a que se trate de técnicas no invasivas y reversibles.⁵⁷

Podemos reconstruir la pieza hasta el nivel que veamos conveniente y de la forma que necesitemos, aumentando la libertad del restaurador; imponiendo los colores y formas necesarias para su correcta reconstrucción. Esta restauración digital se puede dividir en dos procesos de actuación posible:

- **Reconstrucción geométrica.**

Esta técnica trata de completar la forma y dimensiones del objeto, con piezas existentes y digitalizadas tridimensionalmente, o bien con elementos no existentes y diseñados en programas de modelado 3D. Cuando se han perdido partes del original, estas pueden ser modeladas mediante un software sobre el modelo digitalizado, siempre que estos elementos se conozcan a través de fuentes bibliográficas.⁵⁸ Y, a partir de la recomposición de partes existentes, que se encuentren degradadas, se puede obtener una aproximación al estado original de la obra.⁵⁹

Siguiendo los protocolos de restauración, es idóneo el separar visualmente, lo digitalizado (real) de lo diseñado (restaurado), para no llevar a errores en su interpretación.⁶⁰

⁵⁴ TORRES, J.C; CANO, P; MELERO, J; ESPAÑA, M. et al. *Op. cit.*

⁵⁵ *Ibid.*

⁵⁶ ORTIZ CODER, P. *Op. cit.*

⁵⁷ RODRIGUEZ SILGO, A. *Op. cit.*

⁵⁸ *Ibid.*

⁵⁹ *Ibid.*

⁶⁰ ORTIZ CODER, P. *Op. cit.*

- **Restauración pictográfica.**

Este tipo de actuaciones se ciñen a la modificación radiométrica del objeto 3D para tratar de eliminar y/o sustituir colores o elementos pictográficos que no existían en un origen.⁶¹

Por otro lado, en el proceso de restauración, la digitalización puede ser útil como registro de la evolución del proceso. Esto permite analizar los cambios realizados en el objeto,⁶² y recoger las distintas fases de transformación de una pieza.⁶³

Debe quedar claro que con esto no se debe suprimir la restauración de las obras reales, sino que se incluya como una nueva herramienta, la cual realiza una interpretación de las necesidades de cada obra.⁶⁴

⁶¹ ORTIZ CODER, P. *Op. cit.*

⁶² TORRES, J.C; CANO, P; MELERO, J; ESPAÑA, M. et al. *Op. cit.*

⁶³ RODRIGUEZ SILGO, A. *Op. cit.*

⁶⁴ *Ibid.*

3.2. Caso de estudio: *La Fuente*, obra de Enrique Cejas Zaldívar

3.2.1. Enrique Cejas Zaldívar

Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) es un escultor nacido en Cádiz el 27 de marzo de 1915 pero que, desde los tres años residió en Santa Cruz de Tenerife. Sus estudios superiores de Bellas Artes fueron realizados, tanto en Tenerife y Cádiz, como en Madrid.

A partir de 1940 desarrolla una actividad febril, participando en diferentes exposiciones, al mismo tiempo que ejerce la docencia como profesor en la Escuela de Artes y Oficios de Santa Cruz de Tenerife (1944-48) y en la Escuela de Bellas Artes de Tenerife (1947-48). En estos años, tras concurso nacional, le otorgan la realización del Monumento a los Caídos de Santa Cruz de Tenerife, en colaboración con el arquitecto Tomás Machado.

Decide marchar a la República de Venezuela en 1948, donde participa en varias exposiciones y realiza una serie de obras menores, hasta el año 1956 que vuelve a Canarias. Posteriormente, ha de ir a Madrid a revalidar sus estudios, culminándolos con gran brillantez.

De nuevo en Canarias, vuelve a participar en distintas exposiciones y concursos, en los que destaca ganando los primeros premios, lo que le lleva a ser elegido para la realización de varios monumentos públicos, como los dedicados a las figuras de Teobaldo Power y al obispo Pérez Cáceres. Al mismo tiempo, continúa su labor docente en la Universidad de La Laguna (1960-68).⁶⁵

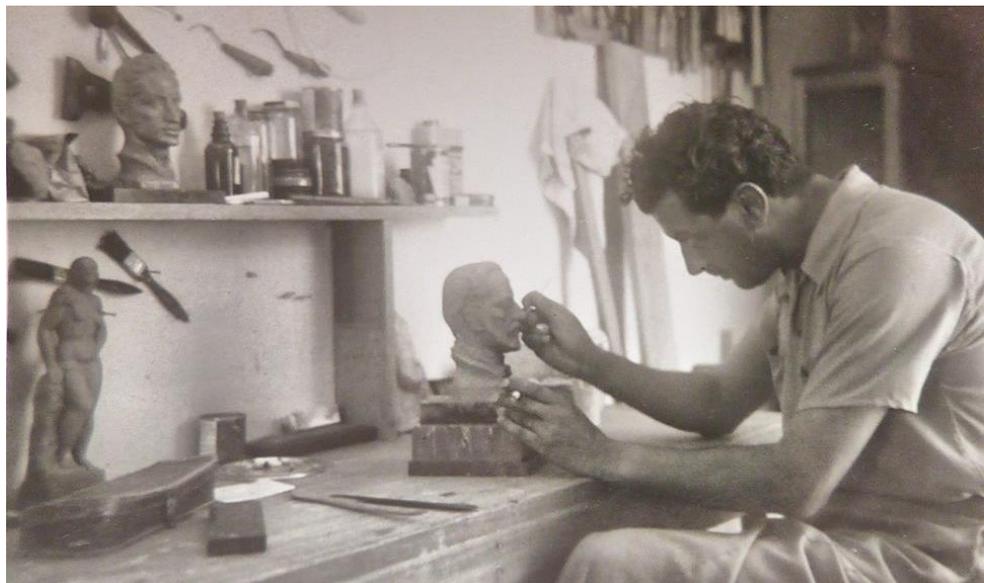


FIG. 1⁶⁶

Enrique Cejas en su taller, sobre la mesa, a la izquierda, la obra del caso de estudio.

⁶⁵ PÉREZ REYES, C. *Escultura Canaria Contemporánea (1918-1978) Premio "Viera y Clavijo" 1980*. Gran Canaria: Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria, 1984.

⁶⁶ Enrique Cejas en su taller [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

3.2.1.1. Su obra

Según el análisis de la obra realizado por Carlos Pérez Reyes⁶⁷, en la producción de Cejas podemos establecer tres períodos: una primera etapa formativa, donde domina la “impronta académica”; una segunda: “monumental”, hasta 1956; y una tercera, de “cierta depuración formal”.⁶⁸

El primer periodo está marcado por la impronta académica, donde el interés se concentra en la simple repetición de unos rasgos.

A partir de 1940, el artista va afirmándose técnicamente, al tiempo que sus composiciones ganan en monumentalidad, desde la “Cabeza de Arístides Ferrer”, hasta “Abatido” y “Cango”. Este periodo está marcado por el “Monumento a los caídos”, realizado entre 1945 y 1946, una obra de gran envergadura por su tamaño, y por el significado que se le pretende dar.

Posteriormente, el artista se va recreando en los cuerpos, en las leves torsiones, en los desnudos femeninos plenos de fuerza. Esta tendencia se va a acusar en el inicio de su tercer periodo, dejando obras como “Golfá” o “Torso”. Hacia 1966 crea el “Pensador”, quizá la obra más significativa de su producción, dejando la impronta de su formación académica y su gusto por la fuerza.



FIG. 2⁶⁹ Monumento a los Caídos. Soldado (1945)



FIG. 3⁷⁰ Abatido (h. 1964)



FIG. 4⁷¹ Torso (h. 1960)

⁶⁷ PÉREZ REYES, C. *Op. cit.*

⁶⁸ GONZÁLEZ GONZÁLEZ, N. Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986). La angustia expresionista de un hombre tranquilo [en línea]. Anales Real Academia Canaria de Bellas Artes de San Miguel Arcángel, 2015, n°8, p.241-250. [Consulta: 10-04-2018]. Disponible en: https://issuu.com/racba/docs/racba_anales_n8_2015

⁶⁹ Soldado [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

⁷⁰ Abatido [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

⁷¹ Torso [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

3.2.1.2. La Fuente

La obra de Enrique Cejas objeto de este estudio se denomina “La Fuente”, propiedad privada de Ana María Dolores Hernández Lorenzo, familia del escultor, quien la obtuvo, como regalo de Enrique Cejas, en torno a los años 1947-48.

“La Fuente” está realizada en barro cocido. Representa una mujer con el cuerpo al desnudo, uno de sus brazos está apoyado sobre un pedestal, que se eleva desde la base, y el otro en forma circular hasta la cadera, como si sostuviera algún objeto. Debajo de este brazo, se encuentra un cántaro circular.

Gracias a una fotografía antigua de la obra obtenida en una web⁷² creada a raíz del centenario del nacimiento del escultor, podemos observar sus cambios en el tiempo, y confirmar que actualmente le falta el cántaro que debiera agarrar con su brazo izquierdo.



FIG. 5a⁷³
FIG. 5b

Comparativa del estado original de la pieza (5a) y del estado actual (5b).

⁷² Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. [Consulta: 06-02-2018]. Disponible en <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

⁷³ BENÍTEZ, A. La Fuente de Enrique Cejas Zaldívar [documento gráfico] En: Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015. [Consulta: 07-02-2018]. Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

No existe prácticamente documentación bibliográfica sobre esta escultura, pero el historiador Carlos Pérez Reyes, en “Escultura canaria contemporánea (1918-1978)”⁷⁴, cataloga dos obras del artista que indiciariamente podrían tratarse de esta pieza, extremo que no es posible confirmar al no incluir sus fotografías en el catálogo.

La obra denominada “Figura” coincide en la descripción de la obra, pero no coincide ni en su tamaño, ni en su paradero. Pero la denominada “Fuente” sí coincide en tamaño y en su paradero (ya que se encuentra en una vivienda particular), pero no en la descripción de la obra.

32. FIGURA	38. FUENTE
Barro cocido	Barro cocido
45 cm. aproximadamente	30 cm.
1944	1945
Desnudo femenino de pie, apoyando su mano izquierda en una roca a modo de pedestal, mientras lleva cántaro en la mano izquierda, hay otro en el suelo en el mismo lado.	Figurilla femenina desnuda y de pie, que vierte agua de un cántaro sostenido sobre el hombro derecho.
Expo. individual. Círculo de Bellas Artes. Santa Cruz de Tenerife (1945)	Expo. individual. Círculo de Bellas Artes. Santa Cruz de Tenerife (1945) Expo. colectiva. Círculo de Bellas Artes. Santa Cruz de Tenerife (1947)
Col. Zamorano (Santa Cruz de Tenerife)	Paradero desconocido.

También el periódico Aire Libre,⁷⁵ con fecha de 26 de marzo de 1945, publica una noticia sobre la exposición individual de Cejas Zaldívar en el Círculo de Bellas Artes, en la cual expuso un total de treinta de sus obras. Como imagen de esta noticia, aparece una fotografía de una de las obras expuestas, la cual coincide con la perteneciente a Ana María Dolores Hernández. Bajo la foto observamos el nombre de la obra, “La Fuente (maqueta)”.

Por otro lado, el periódico El Día⁷⁶, del 22 de marzo de 1945, publica que ese mismo día iba a tener lugar la apertura de dicha exposición, nombrando las obras que serían expuestas. En la Sala I mencionan la obra “Fuente (maqueta)”, pero sin embargo no aparece ninguna obra con el nombre “Figura”.

EXPOSICION CEJAS ZALDIVAR, EN EL CIRCULO DE BELLAS ARTES



FIG. 6

LA FUENTE (MAQUETA)

Imagen del periódico Aire Libre (26.03.1945) donde aparece la obra

⁷⁴ PÉREZ REYES, C. *Op. cit.*

⁷⁵ Exposición de Cejas Zaldívar, en el Círculo de Bellas Artes (26 de marzo de 1945). *Aire Libre*, p. 1.

⁷⁶ Exposición de obras del escultor Cejas Zaldívar (22 de marzo de 1945). *El Día*.

A partir de esta información, podríamos deducir que Carlos Pérez Reyes⁷⁷, en su libro, posiblemente tenga estas dos obras “Figura” y “Fuente” confundidas.

Por su diseño, la denominación de “La Fuente” sería la adecuada, ya que el cántaro que sostiene en el brazo tiene la boca hacia abajo, surgiendo la imagen del agua cayendo hasta el cántaro que se encuentra en el suelo, como si se tratara de una fuente.

En el periódico Aire Libre⁷⁸ la definen como “maqueta”, y en este sentido, dado el material en el que está realizada (barro cocido), podría tratarse de una. Podemos pensar, entonces, teniendo en cuenta su nombre, que podría tratarse de un boceto para la posterior realización de una posible fuente real, pero no hemos hallado información para concluir que esta obra haya sido finalmente creada.

Con estos datos, podríamos documentar la obra como la siguiente:

Denominación	La Fuente
Material	Barro cocido
Medidas	32,55 cm de alto
Datación	1945
Descripción	Desnudo femenino de pie, apoyando su mano derecha en una roca a modo de pedestal, con cántaro en la mano izquierda, y otro en el suelo en el mismo lado
Exposiciones	Expo. individual. Círculo de Bellas Artes. Santa Cruz de Tenerife (1945) Expo. colectiva. Círculo de Bellas Artes. Santa Cruz de Tenerife (1947)
Propiedad	Propiedad Privada Santa Cruz de Tenerife

⁷⁷ PÉREZ REYES, C. *Op. cit.*

⁷⁸ Exposición de Cejas Zaldívar, en el Círculo de Bellas Artes (26 de marzo de 1945). *Aire Libre*, p. 1

3.2.2. Digitalizado de la obra

Para poder digitalizar la obra con de las herramientas necesarias, este proceso se ha realizado en el Laboratorio de Diseño y Fabricación Digital de la Universidad de La Laguna (FabLabULL), perteneciente al Servicio General de Apoyo a la Investigación (SEGAI).

La obra se digitalizó a partir de dos sistemas diferentes, mediante fotogrametría con una cámara fotográfica, *Powershot G12* de Canon⁷⁹ y mediante escáneres 3D de luz estructurada, utilizando dos dispositivos diferentes, *Eva* de Artec 3D⁸⁰ y *EinScan-SP*⁸¹ de Shining 3D. A partir de estos sistemas conseguimos tres modelos 3D, cada uno con su geometría y textura diferentes, las cuales serán comparadas posteriormente.

Los tres digitalizados están realizados en las mismas condiciones ambientales en el FabLabULL, con una iluminación natural y difusa, que incide a través de una pared de paneles translúcidos. Detrás de la pieza se colocó, en todos los casos, el mismo fondo liso para evitar contaminar la escena.

3.2.2.1. Digitalizado con fotogrametría, Powershot G12 de Canon

El digitalizado de la obra, mediante fotogrametría, se realizó con una cámara fotográfica *Powershot G12* de Canon, trabajando con el programa *Photoscan* de Agisoft.

TOMA DE DATOS

La obra se coloca sobre una mesa giratoria, la cual rotamos cada 10° aproximadamente. De este modo, es posible girar la pieza y dejar la cámara fija sobre un trípode, a una distancia de 1 m de la obra.

Las propiedades de la cámara para la realización de las fotografías es la siguiente, y no variará en ninguna de las tomas.

Cámara (modelo)	Canon Powershot G12
Distancia focal	18 mm
ISO	200
Diafragma	f/8
Obturación	1/15 s
Balance de blancos	Manual - Nublado



FIG. 7
Toma de datos fotogrametría

⁷⁹ En anexos se incluye un apartado con sus especificaciones.

⁸⁰ *Ibid.*

⁸¹ *Ibid.*

Se ha realizado un total de 216 fotografías, en formato .JPG, de todas las perspectivas de la escultura, con una resolución de 180 ppp. Mediante un total de 6 vueltas alrededor de la obra (*loops*) de entre 30 y 40 fotografías, aproximadamente, cada una y otras de detalle. Estas fotografías presentan un solapamiento de entre el 60-70% para que tengan puntos en común y así poder fusionarlas.

Antes de generar la fotogrametría, se ha de realizar una edición previa de las fotografías. Mediante el programa *Photoshop CS6*, se selecciona únicamente la obra en cada una de las fotografías, discriminando el contexto, para obtener un canal Alfa que funcione como enmascaramiento de ese contexto de la pieza. El archivo se guarda en formato .TIFF, con una resolución de 300 ppp.

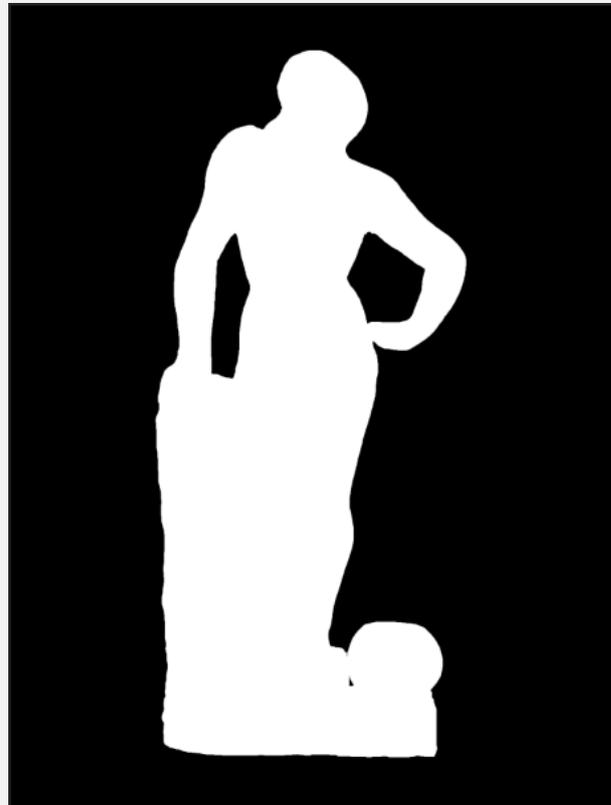


FIG. 8a
FIG. 8b

Canal alfa de cada una de las tomas

GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS

El programa a utilizar para generar el modelo 3D a partir de las fotografías es *Agisoft Photoscan*. En éste insertaremos todas las fotografías, seleccionando que se utilicen las máscaras de cada una de ellas. El programa, en cada paso, te da la opción de elegir la “calidad” con la cual realizar la fotogrametría, y en este caso se hará siempre en *high*, alta.

Indicamos que se alineen todas las fotos y como resultado obtendremos una nube de puntos discreta o poco densa. Esta nube refleja la posición relativa de las cámaras en el espacio, así como un esbozo de la geometría resultante. El sistema ha aprovechado las fotografías en un 100%, sin descartar ninguna. En este caso, la nube de puntos se ha generado a partir de 131.795 puntos.

A continuación, se genera la nube de puntos densa que, al contener millones de puntos, tiene una mayor capacidad descriptiva de la superficie y geometría, aportando además la colorimetría precisa de su superficie. Esta nube ha generado 5.670.597 puntos.

En esta fase, la nube densa ha de ser editada para eliminar elementos que desvirtúen el modelo, generando una variación en el número de puntos: 5.668.512.

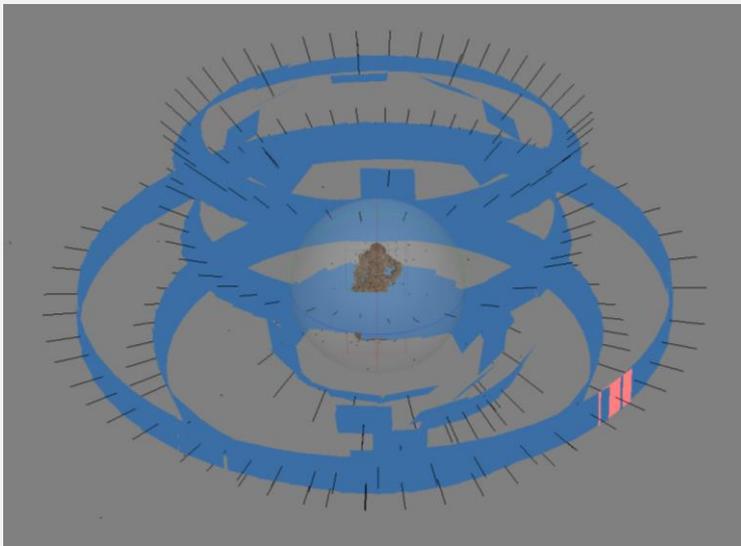
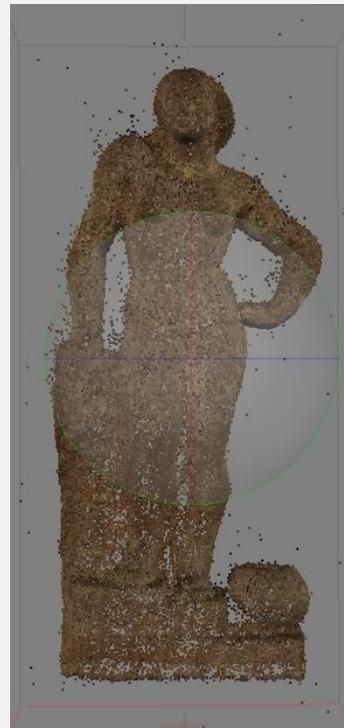


FIG. 9 Disposición de las cámaras en el espacio



Nube de puntos discreta FIG. 10

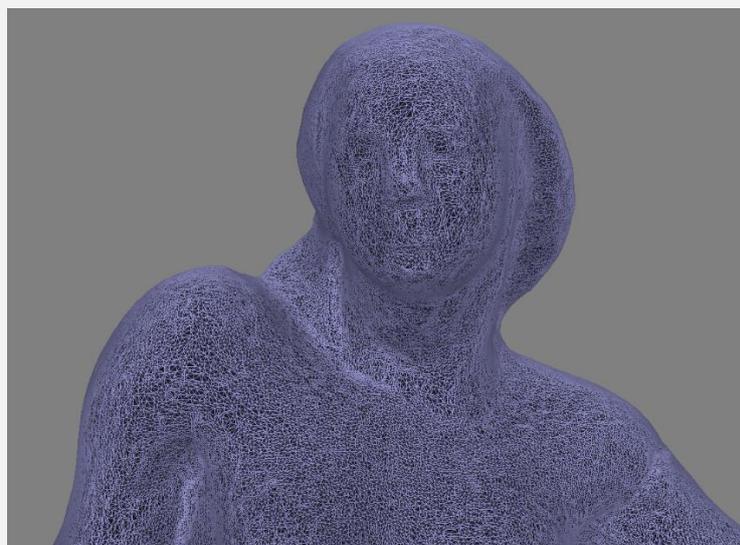
Nube de puntos densa FIG. 11



GENERACIÓN DE MALLA

A partir de la nube de puntos se genera la malla de la obra, la cual nos proporciona una red de triángulos que modela el objeto. Ésta tiene un total de 863.075 polígonos.

Por último, se ha de cerrar la malla para tener un modelo sólido y generar de forma óptima la textura. Con esto también varían el número de polígonos: 863.520.



Detalle de la malla de triángulos **FIG. 14**

FIG. 12 Malla

FIG. 13 Malla con color (sin textura)

GENERACIÓN DE TEXTURA

A partir de las tomas fotográficas, el programa genera una textura que se adapta perfectamente a la malla 3D (863.520 polígonos). Con esto obtendremos el modelo final, con el cual tendremos digitalizada la obra.

Modelo con textura **FIG. 15**
FIG. 16 Textura generada (.JPG)



Inicialmente, el modelo recién creado, aunque preciso en proporciones, no posee una escala ni coordenadas conocidas, por lo que se hace necesario atribuirle una escala o contextualizarlo en un sistema de coordenadas, con el fin de poder realizar mediciones sobre el modelo.⁸²

Este modelo podrá ser exportado a diferentes sistemas para su posterior tratamiento, como .OBJ o .STL para su posterior procesado y poder ser impreso en 3D.

El modelo generado puede tener un tamaño demasiado pesado para trabajar con él en otros programas de edición 3D, por lo que conviene simplificar la malla tras su procesado. En *Photoscan*, este proceso se denomina *Decimate Mesh*, y se puede seleccionar el número de polígonos deseado.

⁸² PEREIRA UZAL, J. M; ROBLDANO ARILLO, J. Uso de tecnologías 3D en la digitalización y difusión de documentos de alto valor patrimonial [en línea]. *El profesional de la información*, 2013, vol. 22 n°3, p.215-223. [Consulta: 13-04-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4258448>

3.2.2.2. Digitalizado con escáner de luz estructurada, *Eva de Artec 3D*

Para la primera digitalización de la obra, con un escáner de luz estructurada, utilizaremos el escáner *Eva* de *Artec 3D*, y el procesamiento de estos escaneados se realizará en el *software Artec Studio 12*.

TOMA DE DATOS

La obra se coloca sobre una mesa giratoria, la cual rotamos cada 10° aproximadamente. El escáner tiene una función de auto posicionado, por lo que podemos proceder a un escaneado manual. Este se realiza a una distancia de entre 0,5 y 1 m de la pieza. Procedemos al escaneado por zonas, de este modo, y mediante el *software* del escáner *Artec Studio 12*, observamos a tiempo real las partes que se van escaneando de la pieza.

Los parámetros del escáner, para su utilización, son los siguientes, y no variarán en ninguna de las tomas.

Escáner (modelo)	<i>Eva de Artec 3D</i>
Fuente de luz	Bombilla flash
Función para rastrear	Geometría + Textura
Fusión en tiempo real	Desactivado
Continuar desde el área de trabajo	Desactivado
Velocidad de escaneo	15 FPS
Profundidad de campo	Cerca: 400 mm - Lejos: 1000 mm



Se ha realizado un total de 9 escaneados de 3 minutos, aproximadamente, cada uno, abarcando de arriba a abajo la obra, mediante una única vuelta alrededor de la misma (*loop*). Estos escaneos presentan un solapamiento de, mínimo, un 30% para asegurarse un recubrimiento completo⁸³ y que puedan ser fusionados sin problemas. En formato .DSCAN y .TSCAN.

El escáner emite patrones de luz durante todo el proceso y mediante el *software* en el ordenador, observamos a tiempo real las partes que se van escaneando del modelo.

Toma de datos con el escáner *Eva* **FIG. 17**

⁸³ COLOMO, C; PÉREZ, J. L; GÓMEZ J. M; ROSALES, F. J. *Op. cit.*

GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS

Una vez tengamos todos los escaneados necesarios, indicamos su alineamiento para obtener una nube de puntos. Las informaciones aportadas por cada uno de los puntos son: coordenadas, color y luminosidad, de forma que con esta información se obtiene una imagen 3D del elemento escaneado. No obstante, esta representación no es la definitiva, ya que es necesario un modelo digital completo para su utilización.⁸⁴ Se generaron 30.032.301 puntos para la generación del modelo digital 3D.

Después de alinear todos los escaneos, la siguiente fase es el registro global (*Global registration*). Este algoritmo selecciona un grupo de puntos geométricos de cada fotograma y, comparando estos grupos a lo largo de diferentes fotogramas, obtiene información sobre las posiciones relativas de cada par de estos. Esto optimiza la posición de todos los fotogramas en un sistema de coordenadas global, corrigiendo los errores y fallos previos de alineación.

Durante el escaneo, datos extraños o atípicos (*outliers*) pueden aparecer en la escena. Los *outliers* son pequeñas superficies que no están conectadas a las superficies principales, datos que se deben eliminar. Por esto deben borrarse antes de la fusión del modelo (*Outliers removal*).⁸⁵

Por otro lado, la nube de puntos ha de ser editada eliminando los elementos que no pertenezcan al objeto original. Esto genera una variación en el número de puntos, 25.761.255.

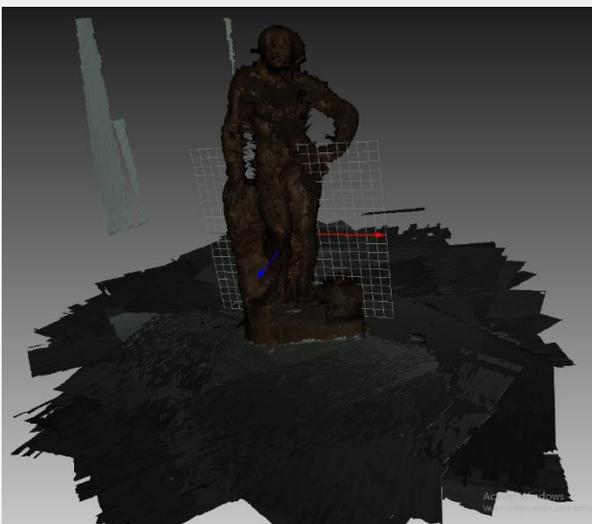


FIG. 18 Alineado de los escaneados

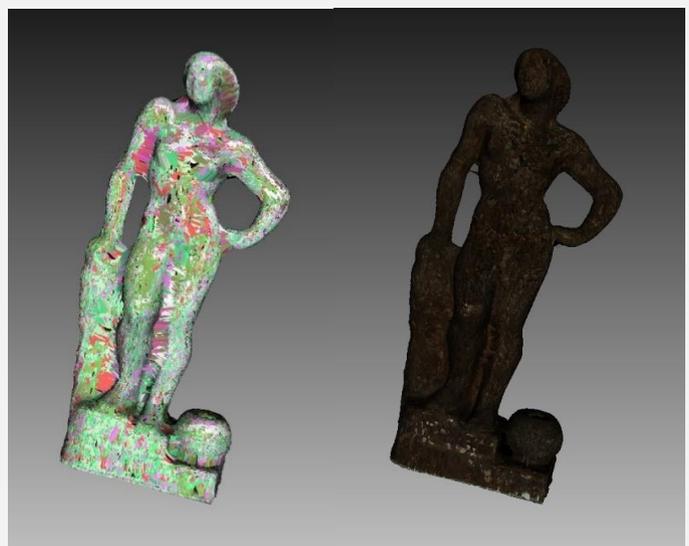


FIG. 19 Limpieza de la nube

⁸⁴ GONZÁLEZ MUÑOZ, M. J; RUEDA RUIZ, A. J; SEGURA SÁNCHEZ, R. J; OGÁYAR ANGUIA, C. J. et al. Uso de sistemas basados en escáner 3D para digitalización y estudio del patrimonio arqueológico [en línea]. *Virtual Archaeology Review*, 2010, vol. 1 n°1, p.99-102. [Consulta: 08-06-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5237625>

⁸⁵ Artec 3D. User guide Artec Studio 12 [en línea]. [Consulta: 05-03-2018]. Disponible en: <http://docs.artec-group.com/as/12/en/>

GENERACIÓN DE MALLA

A partir de la nube de puntos, alineada y filtrada, se genera una malla de triángulos procedente del total de los escaneados, la cual modela el objeto. En este caso, podemos seleccionar qué tipo de fusión queremos conseguir, y seleccionamos la que presenta un mejor resultado: *Sharp Fusion*. Ésta tiene un total de 267.509 polígonos.

Este tipo de fusión es particularmente adecuada para la reconstrucción de detalles finos y con bordes afilados en el modelo. El detalle del resultado es generalmente más alto que en el caso de la fusión rápida o la fusión suave y es capaz de crear mallas herméticas rellenando todos los huecos en los datos.⁸⁶

Por último, se ha de cerrar la malla, para tener un modelo sólido y generar mejor la textura. Con esto también varía el número de polígonos, 281.720.

GENERACIÓN DE TEXTURA

El modelo 3D obtenido después de la alineación y de la optimización no contiene información de textura. Para mapear texturas en el modelo se han de seleccionar los escaneos a partir de los cuales se quiere generar la textura, mediante esto se genera un mapa de texturas que es aplicado al modelo.

El escáner respeta la escala del objeto original, otorgándole unas medidas específicas, que en este caso son similares a la del original, 326.98 mm de alto.

Este modelo podrá ser exportado a diferentes sistemas para su posterior tratamiento. El modelo 3D como .OBJ o .STL y su textura en .JPG o .PNG, para su posterior utilización.

Si el modelo tuviera un tamaño demasiado pesado para trabajar con él, éste podría ser simplificado. En este caso, la malla generada tiene un número de polígonos bastante bajo, con lo cual se puede trabajar sin problemas en los diferentes dispositivos.

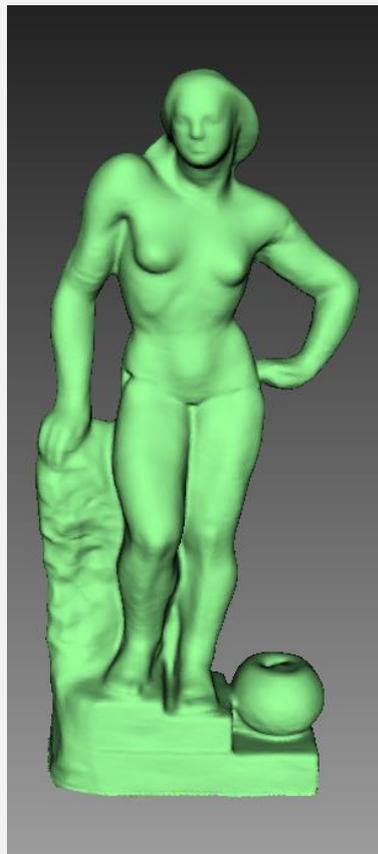


FIG. 20 Modelo en malla



FIG. 21 Modelo con textura

⁸⁶ Artec 3D. User guide Artec Studio 12. *Op. cit.*

3.2.2.3. Digitalizado con escáner de luz estructurada, *EinScan-SP* de *Shining 3D*

Para esta digitalización de la obra se ha utilizado el escáner 3D de luz estructurada, *EinScan-SP* de *Shining 3D* con su mesa giratoria, un escáner que ha llegado nuevo al FabLabULL, ya que no había sido utilizado aún hasta este momento. Este escáner trabaja con el *software* del mismo, *EinScan Software V2.6*.

TOMA DE DATOS

La obra se coloca sobre la mesa giratoria que trae el escáner, la cual va conectada a éste, y el escáner se coloca fijo sobre un trípode y a una distancia de 50 cm de la obra. De este modo, y mediante el *software* del escáner, *EinScan Software V2.6*, la pieza va girando y escaneándose automáticamente. Los parámetros del escáner, para su utilización, son los siguientes, y no variarán en ninguna de las tomas.

Escáner (modelo)	<i>EinScan-SP</i> de <i>Shining 3D</i>
Fuente de luz	Luz blanca
Calibrado	Si
Modo escaneado	Con Textura
Selección del tono del objeto	Medio
HDR	Desactivado
Con mesa giratoria	Sí (90 pasos)
Modo de alineación	Mesa giratoria



Se ha realizado un total de 5 escaneados, de 30 minutos cada uno, de todas las perspectivas de la obra, mediante la mesa giratoria, cada uno compuesto por 90 tomas. Además de estos escaneados, se realizan 3 tomas individuales adicionales, sin mesa giratoria, de manera que se mejora notablemente la captura de zonas de difícil medición, minimizando de esta manera zonas ocultas. De este modo, obtenemos un total de 453 tomas en formato .RGE. Estas tomas presentan un solapamiento de entre el 60-70% para que tengan puntos en común y así poder fusionarlas con un mayor detalle.

FIG. 22 El escaneado es automático, se hace girar la mesa 360° con un número de 90 movimientos de giro. Este número de movimientos dependerá del número de imágenes que se quieran capturar, y este número de imágenes dependerá a su vez del nivel de detalle que se quiera alcanzar en la reconstrucción. Entre giro y giro, el escáner emite diferentes patrones de luz, incluido el RGB para capturar la textura, y se adquiere la imagen del objeto. A su vez observamos a tiempo real las partes que se van escaneando del modelo. Únicamente se ha de colocar el escáner enfocando la parte deseada, ya que la pieza no cabe entera, y calibrarlo cada vez que se modifique su posición.

Toma de datos con *EinScan-SP*

GENERACIÓN DE NUBE DE PUNTOS

A medida que se va realizando cada uno de los escaneados, éstos se van alineando automáticamente formando la nube de puntos. La información aportada por cada uno de los puntos consiste en coordenadas, color y luminosidad. Con esta información se obtiene una imagen 3D del elemento escaneado. No obstante, esta representación no es la definitiva, ya que es necesario un modelo digital completo para su utilización.⁹⁰ En este caso se han obtenido 68.846.340 puntos para generar el modelo digital.

A medida que se van realizando los escaneados pueden ser editados individualmente para ir eliminando los elementos que no pertenezcan al modelo.



FIG. 23 Nube de puntos del modelo (izq.)

FIG. 24 Detalle de la nube de puntos (drcha.)

GENERACIÓN DE MALLA

A partir de la nube de puntos se genera la malla de triángulos, procedente del conjunto de los escaneados, la cual modela el objeto. En este punto seleccionamos que genere un modelo cerrado y podemos seleccionar el tipo de resolución, variando el número de polígonos. Por lo que seleccionamos la mejor resolución, *High detail*, formando un total de 7.380.752 polígonos.

GENERACIÓN DE TEXTURA

Al seleccionar el tipo de malla, se crea directamente la textura, la cual se genera a partir de las tomas fotográficas producidas por el escáner, con un total de 453 imágenes en formato .BMP, y con una resolución de 1280 x 960 píxeles.

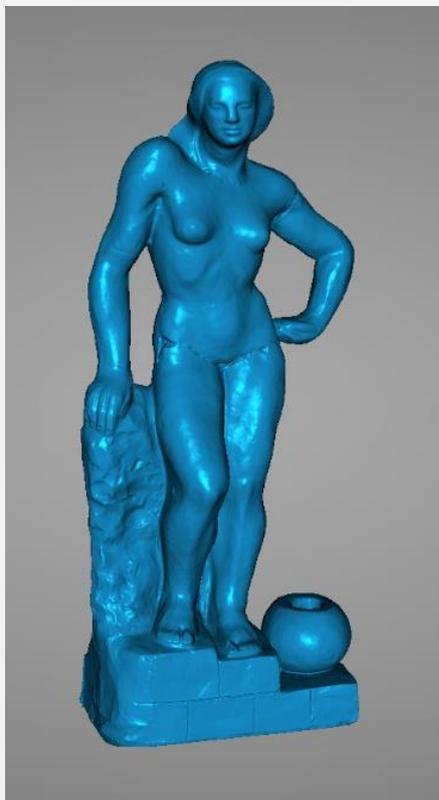
El escáner respeta la escala del objeto original, otorgándole unas medidas específicas, que en este caso son idénticas a la del original, 151.62 x 325.97 x 130.32 mm.

Por último, el modelo 3D es exportado para su posterior uso en .OBJ y .STL y su textura en .JPG y .PNG.

Por otro lado, se ha de tener en cuenta que el modelo tiene un tamaño demasiado pesado, debido a la cantidad de polígonos, para trabajar bien en los diferentes *software*. Por ello se reduce un 90%, quedando 738.062 polígonos.

FIG. 25 Modelo generado en malla

FIG. 26 Modelo con textura



3.2.2.4. Comparativa de los diferentes métodos de digitalización

Cada digitalizado de obras de arte se ha planteado y resuelto de forma específica en cada caso. No existe ninguna herramienta genérica que permita gestionar todas las digitalizaciones 3D relacionadas con el patrimonio histórico, por lo que cada obra y cada caso necesitarán de un sistema determinado de digitalización.

Los diferentes sistemas 3D utilizados tienen un tipo específico de resolución, exactitud y calidad de datos, por ello es importante organizar bien los pasos para poder determinar el sistema más apropiado. Esto se puede lograr identificando la resolución y los aspectos que afectan la calidad de los datos, y evaluando características del objeto como sus dimensiones, la geometría total, el color, etc. También se han de tener en cuenta, la facilidad y eficiencia con la que trabajan estos sistemas 3D, de forma que la comparativa debe incluir también estas variables.

En este caso, “La Fuente” ha sido digitalizada mediante dos sistemas diferentes, con fotogrametría, mediante la cámara *Powershot G12* de *Canon*, y con escáneres de luz estructurada, pero incluyendo dos modelos diferentes, el *Eva* de *Artec 3D* y el *EinScan-SP* de *Shining 3D*. De estos sistemas comparamos su eficiencia a la hora de escanear la pieza, así como los resultados obtenidos con cada uno de ellos.

A la hora de comenzar la toma de datos, es necesario que los escáneres de luz estructurada estén conectados a un ordenador y tengan instalado el *software* específico para cada uno de ellos, ya que la toma de datos es automática a medida que se va escaneando la pieza. En cambio, para realizar la toma fotogramétrica, primero sólo es necesaria una cámara fotográfica. Esta toma de datos se realiza de forma manual mediante el escáner *Eva* y la fotogrametría, pero se realiza un escaneo automático con el escáner *EinScan-SP*, ya que incluye una mesa giratoria, que va conectada al mismo escáner.

Por otro lado, de forma previa a esta toma de datos, es necesario calibrar el escáner de luz estructurada *EinScan-SP* mediante una matriz de puntos. El escáner de luz estructurada *Eva* y la fotogrametría mediante la *Powershot G12* no necesitan de ningún calibrado.

El tiempo utilizado en cada sistema para la toma de datos es muy diferente en cada caso, siendo el escáner *Eva* el más rápido, con una duración de 30 minutos aproximadamente, seguido de la toma de fotografías para la fotogrametría realizado en 1 hora. Por último, el sistema que más tiempo ha requerido es el escáner *EinScan-SP*, que ha necesitado unas 4 horas.

Los datos obtenidos se han de procesar posteriormente mediante los *software* específicos de cada uno. El procesado más eficiente ha sido el del escáner *EinScan-SP*, y el *software EinScan Software V2.6*, con un tiempo de procesado de 30 minutos, debido a que es el único alineado de los escáneres que se realiza mientras se toman los datos. Seguidamente, el escáner *Eva*, con un procesado de 3 horas aproximadamente en el *software Artec Studio 12*. Y, por último, la fotogrametría, la cual tiene un procesado mayor, ya que primero se han de realizar las máscaras a cada una de las fotos en *Photoshop CS6*, por espacio de unas 3 horas, y seguidamente hay que crear el modelo en el *software Photoscan* de *Agisoft*, que precisa unas 6 horas aproximadamente.

En la toma de datos puede interferir el ambiente que se encuentra alrededor de la obra a digitalizar, generando residuos que no pertenecen a ésta. El escáner *EinScan-SP* no genera ningún tipo de residuos mientras se escanea la pieza. En el caso de la fotogrametría, como previamente se realizan máscaras al objeto previamente, no aparecen casi residuos; únicamente en zonas donde es más complicada la toma de los datos. Pero en el caso del escáner *Eva*, sí que aparecen muchas zonas que no pertenecen a la obra, tales como parte del suelo donde apoya y el fondo situado tras la pieza; así como *outliers*, cuya eliminación automática lleva tiempo.

Sistema	Fotogrametría	Escáner luz estructurada	Escáner luz estructurada
Modelo	<i>Poweshot G12</i> de <i>Canon</i>	<i>Eva</i> de <i>Artec 3D</i>	<i>EinScan-SP</i> de <i>Shining 3D</i>
Programa	<i>Agisoft Photoscan</i>	<i>Artec Studio 12</i>	<i>EinScan Software V2.6</i>
Toma de datos	Manual	Manual	Automático (mesa giratoria)
Calibración	No	No	Si
Tiempo toma de datos	1 h	30 min	4 h
Tiempo procesado	3 h mascarar 6 h	3 h	30 min
Alineado	Automático	Automático	Automático (mientras)
Residuos	Poco	Mucho	Nada

En cuanto a los modelos obtenidos mediante cada uno de los sistemas existen grandes diferencias.

En primer lugar, la nube de puntos generada por el escáner *EinScan-SP* es la que contiene un número mayor de puntos (68.846.340 puntos), el siguiente con mayor número de puntos es el escáner *Eva*, pero hay una diferencia muy grande de una nube de puntos a otra (25.761.255 puntos). Y, por último, la fotogrametría es la que menos puntos ha generado (5.668.512 puntos).

Una vez se convierte la nube de puntos en malla, los puntos pasan a ser polígonos y vértices. En este caso, el modelo con un mayor número de polígonos sigue siendo el del escáner *EinScan-SP* con 7.380.752 polígonos. Pero el siguiente modelo con mayor número de polígonos generados es el de la fotogrametría con 863.520 polígonos, y por último el *Eva* con 281.720 polígonos.

Hay que aclarar que la resolución y detalle de los archivos digitales no depende exclusivamente del número de polígonos resultante, sino que, además, depende del tamaño y disposición de estos polígonos. Como norma general, aquellos dispositivos con mayor capacidad para generar mayor cantidad de polígonos también registran polígonos más pequeños, con lo cual podemos obtener mayor resolución y nivel de detalle.

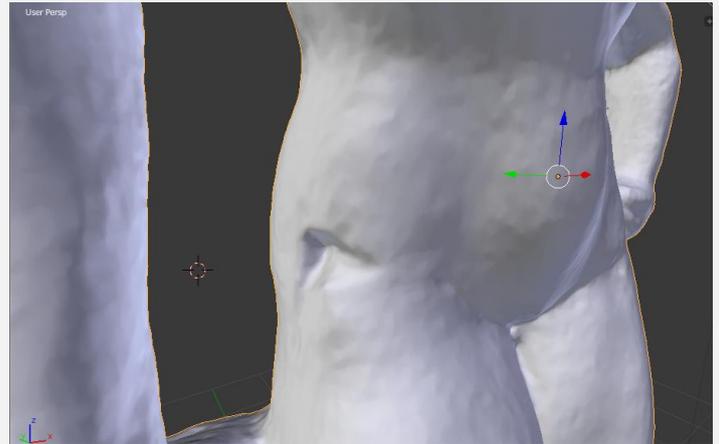
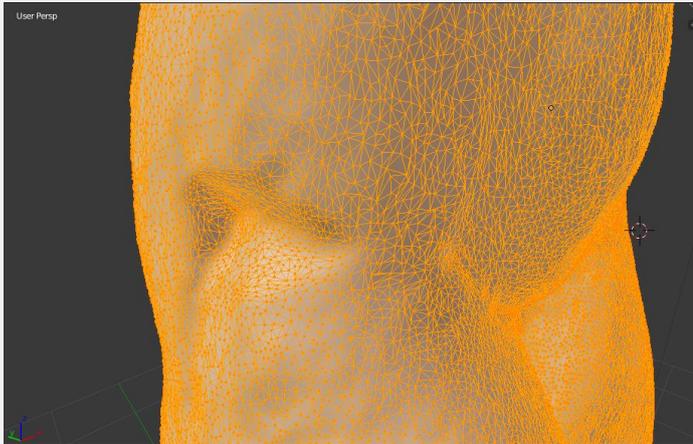
Los resultados obtenidos con *EinScan-SP* son los de mayor resolución, al disponer mayor número de polígonos y además escalarlos en relación a las necesidades de registro en la geometría de la pieza. Observamos, además, como las mallas cuadrangulares propuestas por el escaneado con *Eva* se adaptan peor a las necesidades de registro de la geometría.

Detalle de la obra original

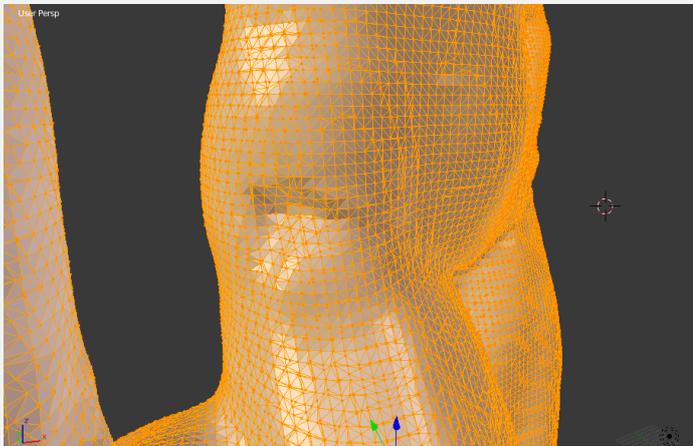
FIG. 27



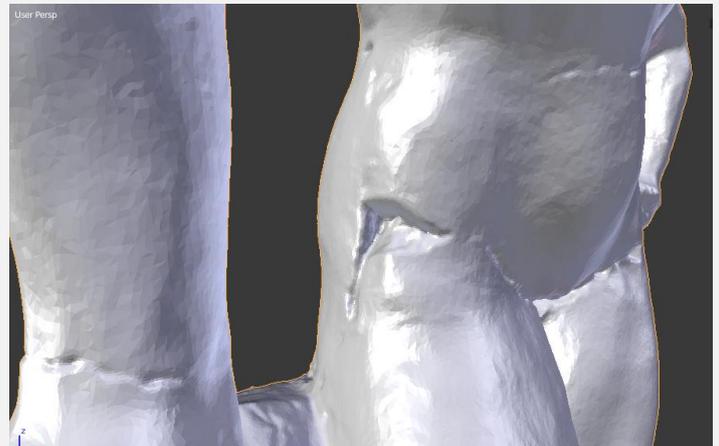
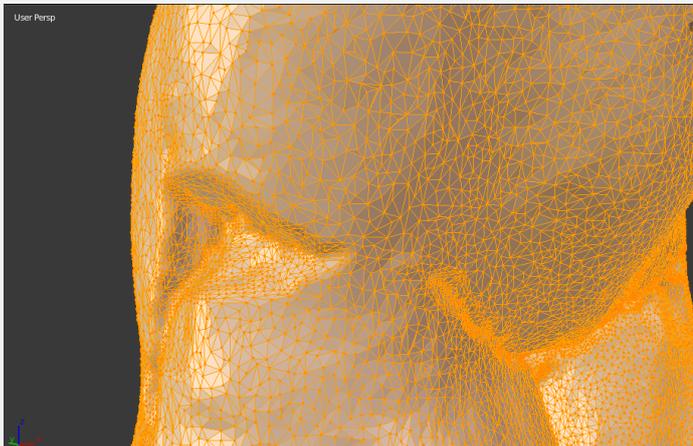
Fotogrametría Poweshot G12



Escáner Eva



Escáner EinScan-SP



Detalle, de los diferentes sistemas, de la geometría del modelo

FIG. 28ab Fotogrametría

FIG. 29ab Escáner Eva

FIG. 30ab Escáner EinScan-SP

En cuanto a las medidas que proporcionan cada uno de los modelos, la fotogrametría no respeta la escala del original, en cambio los dos escáneres sí respetan la escala, variando en milímetros o décimas de milímetro los resultados.

A la hora de calcular el volumen de cada modelo necesitamos que éstos mantengan la escala 1/1 de referencia. Los dos escáneres sí respetan la escala de la pieza original, pero el escáner *EinScan-SP* es el que más milímetros cúbicos tiene (1.012.285,35 mm³), seguido del escáner *Eva* (971.834,714 mm³). Esta variación no es significativa y puede venir dada por las diferencias en registro de la base de apoyo de la escultura. El escaneado siempre se realizó en vertical y la interpretación que realiza cada dispositivo del apoyo de la pieza con el plano del suelo puede provocar diferencias menores en el cubicaje de la misma. El modelo generado por fotogrametría, al no tener una escala, no se puede calcular su volumen. Sin embargo, el modelo fue escalado tomando las medidas reales de la pieza original y obtuvimos un volumen de 954.839,985 mm³.

Ninguno de los sistemas registró el hueco que se encuentra entre el cántaro y la pared vertical de la base, esto es un dato que también, puede hacer variar el número de milímetros cúbicos de la pieza.



FIG. 31abc

Diferencias de registro en la base de apoyo

Por último, la textura generada por los tres sistemas puede ser exportada en .JPG o en .PNG. En fotogrametría la imagen obtenida es mayor, con unas dimensiones de 4096 x 4096 píxeles, mientras que la del escáner *EinScan-SP* es de 2140 x 2074 píxeles. Por último, la del escáner *Eva* es de 2048 x 2048 píxeles. No obstante, las tres tienen una resolución de 96 píxeles por pulgada (ppp).

Las texturas formadas mediante fotogrametría y con el escáner *Eva*, tienen la misma estructura, despliegan la superficie del objeto y rellenan los huecos con un difuminado en el mismo tono. Sin embargo, la textura del escáner *EinScan-SP*, se crea formando una cuadrícula a partir de las fotografías, en la parte superior tienen un tamaño mayor y va disminuyendo hacia abajo en la imagen, y los huecos aparecen en negro.

En cuanto a la fidelidad del color con respecto a la obra original, los dos escáneres emiten una luz blanca sobre el objeto, en el caso del *EinScan-SP* también patrones con los canales RGB, esta luz crea sombras muy duras generando texturas muy oscuras y con sombras no deseadas. En cambio, la textura generada por fotogrametría, con la cámara *Powershot G12*, al poder seleccionar los parámetros de la cámara, genera una textura mucho más fiel a la del original.



FIG. 32 Textura fotogrametría

FIG. 33 Textura Escáner *Eva*

FIG.34 Textura Escaner *EinScan-SP*

	Fotogrametría	<i>Eva</i>	<i>EinScan-SP</i>
Nº puntos	5.668.512	25.761.255	68.846.340
Nº polígonos	863.520	281.720	7.380.752
Volumen	954.839,985 mm ³	971.834,714 mm ³	1.012.285,35 mm ³
Medida	Sin escala	Escala 1:1 326.98 mm	Escala 1:1 325.97 mm
Tamaño modelo	90.751 KB	24.079 KB	99.546 KB
Textura	4096 x 4096 px 96 ppp	2048 x 2048 px 96 ppp	2140 x 2074 px 96 ppp
Tamaño textura	1.652 KB	1.5557 KB	1.486 KB

Observamos que el modelo tridimensional con una mejor resolución es el generado por el escáner *EinScan-SP*, ya que tiene un número de polígonos muy alto, 7.380.752 y una configuración de tamaño y disposición idóneas. Pero la textura generada por este escáner no tiene una calidad de imagen lo suficientemente buena.

Podemos determinar que el modelo digital idóneo debería hacer confluír la geometría obtenida mediante el escaneado con *EinScan-SP*, con la textura obtenida por fotogrametría a través del programa *Agisoft Photoscan*.

Con la ayuda del técnico del Servicio SEGAI FabLabULL se procedió de manera experimental al desarrollo del flujo de trabajo que permitiese esta transferencia. Este proceso complejo se basó en la transferencia de información de color del primer mapeado de textura a los vértices de esa misma geometría, para, a continuación, proyectar la información de color de esos vértices sobre los del segundo modelo y generar un nuevo mapa de textura.

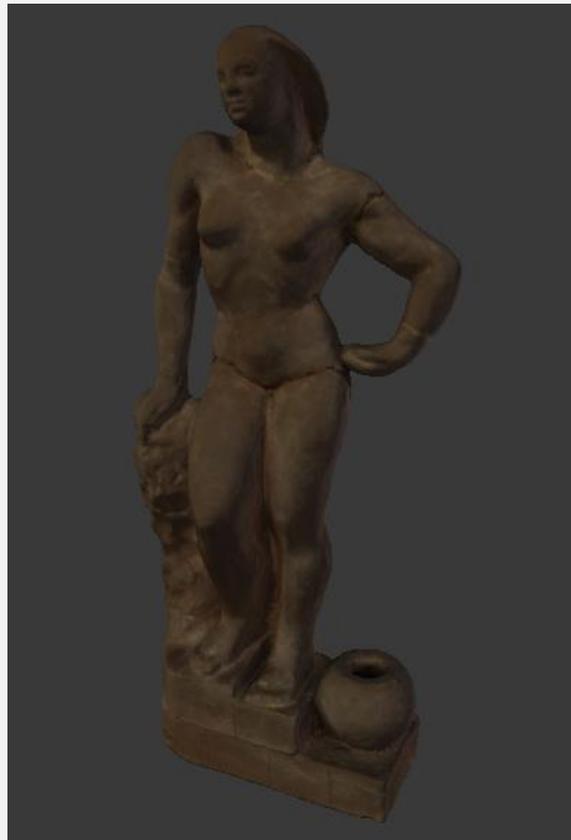


FIG. 35 Proceso de transferencia

FIG. 36 Textura generada

FIG. 37 Modelo resultante

Una vez tengamos el modelo, se ha de comprobar la escala de la figura, para ello utilizamos el *software Rhinoceros 3D*, donde seleccionamos diferentes puntos y nos dice la distancia entre ellos en décimas de milímetro. Con esto observamos que el modelo digital no tiene las medidas exactas de la obra original, siendo su variación poco significativa, por lo que las modificamos ajustándolas a las medidas reales, 32.55 cm de alto. El nuevo escalado es proporcional, por lo que no se producen aberraciones de tamaño.

3.2.3. Reconstrucción/Restauración digital

La reconstrucción y restauración de la pieza se basa en la fotografía antigua de la obra que se obtuvo en una publicación *online*⁸⁷, en la que la obra se encuentra en perfecto estado. Con esto, se decide realizar una representación de la escultura en su estado original, es decir, eliminando las grietas que presenta y añadiendo el cántaro que ha perdido. El programa de modelado 3D con el cual se ha trabajado la pieza es *ZBrush*.

Para la realización del cántaro, solo conocemos la morfología de la parte frontal, de manera que, mediante la búsqueda bibliográfica de cerámica tradicional canaria⁸⁸, se determina que, la gran mayoría de esta cerámica tiene una base plana, diseñando así, la base plana en nuestro modelo.

Una vez realizado, se añade al modelo tridimensional que se va a restaurar, en este caso el obtenido por el escáner de luz estructurada *EinScan-SP*, ya que nos aporta la mayor resolución de detalle. Con esto, y la fotografía de referencia lo colocamos y escalamos en el interior del brazo de la figura.

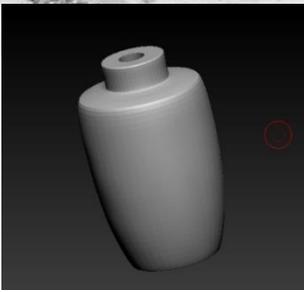


FIG. 38⁸⁸ Artesanas canarias trabajando cántaros

FIG. 39 Cántaro modelado en *ZBrush*

FIG. 40 Proceso de inclusión en el modelo 3D mediante la fotografía original

FIG. 41 Inclusión final en el modelo 3D



⁸⁷ BENÍTEZ, A. La Fuente de Enrique Cejas Zaldívar. *Op. cit.*

⁸⁸ La opinión de Tenerife. Artesanía canaria: el barro [documento gráfico]. [en línea]. 2013. [Consultado: 16-04-2018]. Disponible en: <https://www.laopinion.es/blogs/mis-guachinches-parranderos/artesania-canaria-el-barro.html>

A la hora de restaurar la superficie de la pieza, únicamente se han de eliminar las grietas que presenta, para ello se utiliza el mismo programa de modelado, ZBrush. Con las diferentes herramientas, se rellenan las grietas y posteriormente se suavizan. De este modo, el acabado de las grietas queda demasiado homogéneo en comparación al resto de la pieza, por lo que se imita el acabado de la obra, mediante la herramienta “ruido” sobre la superficie de las mismas. Esta misma herramienta se le aplica también al cántaro que se ha reconstruido, para que la obra presente una continuidad en su superficie.



FIG. 42

Proceso de la restauración digital



FIG. 43a Reconstrucción geométrica (frontal)

FIG. 43b Reconstrucción geométrica (trasera)



En la textura aplicada al modelo se pueden observar las grietas de nuevo, por lo que el siguiente paso consiste en la restauración de la textura. Para ello, introducimos el modelo en el *software Substance Painter*, y mediante la herramienta clonar, se clona la textura que se encuentra contigua a la zona de las grietas, haciéndolas desaparecer. Por último, volvemos a generar la textura ya restaurada y la guardamos como .TIFF, para que pueda ser importada en el modelo restaurado.

El color general de esta textura no se identifica con el color de la obra original, de manera que, mediante *Photoshop CS6*, igualamos su color, aportando un tono más rojizo a la textura.

Con este modelo y su textura, podemos volver a añadir el cántaro, al cual se le da un color neutro pero cálido, para que quede evidencia de que ese objeto es un añadido y no se conserva el original.

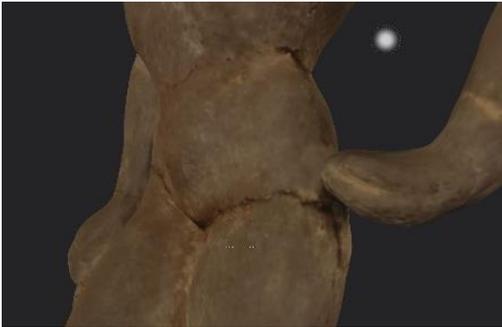


FIG. 44ab
Antes y después de la restauración



FIG. 45 Textura editada (.JPG)



FIG. 46
Restauración digital

Con esto realizamos la exportación del modelo a formato .STL y/o .OBJ el cual podemos utilizar para su documentación, difusión e impresión 3D.

3.2.4. Impresión 3D

La obra a imprimir se encuentra completamente restaurada y presenta el cántaro perdido. Con esto se consigue obtener una réplica, a escala real, de la pieza, que represente su estado original.

Para la impresión 3D se ha utilizado la impresora *Ultimaker² Extended+* con el filamento de PLA⁸⁹ *Extracill*, de la casa comercial *Fillamentum*[®]. Para esta impresora el diámetro del filamento ha de ser de 2.85 mm (\pm 0.05 mm), el cual trabaja a una temperatura de 190 - 210 °C.

Existen diferentes colores a la hora de elegir el filamento para la impresión, en este caso se ha seleccionado el color *Concrete Grey* (RAL 7023 / Pantone P424), ya que el color grisáceo es con el que más se pueden apreciar los detalles que presenta la obra.



Esta impresora, como una de sus características, puede imprimir piezas de hasta 30 cm de altura. En nuestro caso la obra tiene una medida de 32.55 cm, por lo que sobrepasa esta medida por 2.55 cm. Para solventar esto, se ha de separar la pieza en dos partes, decidiendo imprimir el cuerpo de la figura en una única pieza y la base en la que apoya, así como el cántaro inferior, en otra.

El modelo exportado en el formato .STL, se importa en el programa *Simplify3D*, donde, seleccionando las características de la impresora, podemos modificar los parámetros de impresión, así como añadir a la pieza los puntos de apoyo necesarios. En este caso, seleccionamos que el grosor de capa sea de 0,15 mm para tener una mayor resolución, y el *software* nos aporta unos datos aproximados de tiempo de impresión y cantidad de material.

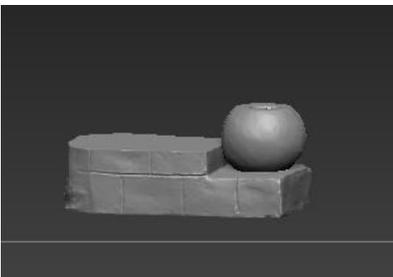


FIG. 47 Primera sección para imprimir la pieza

FIG. 48 Segunda sección

⁸⁹ Ácido poliláctico: polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Se fabrica a partir de recursos renovables al 100%, como son el maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón.

HXX. Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico) [en línea]. Sevilla: 2015. [Consulta: 17-06-2018]. Disponible en: <http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>

	Figura	Base
Tiempo de impresión	33.32 h	7.47 h
Cantidad de material	309.53 g	75.54 g
Grosor de capa	0.15 mm	
% Relleno	12%	

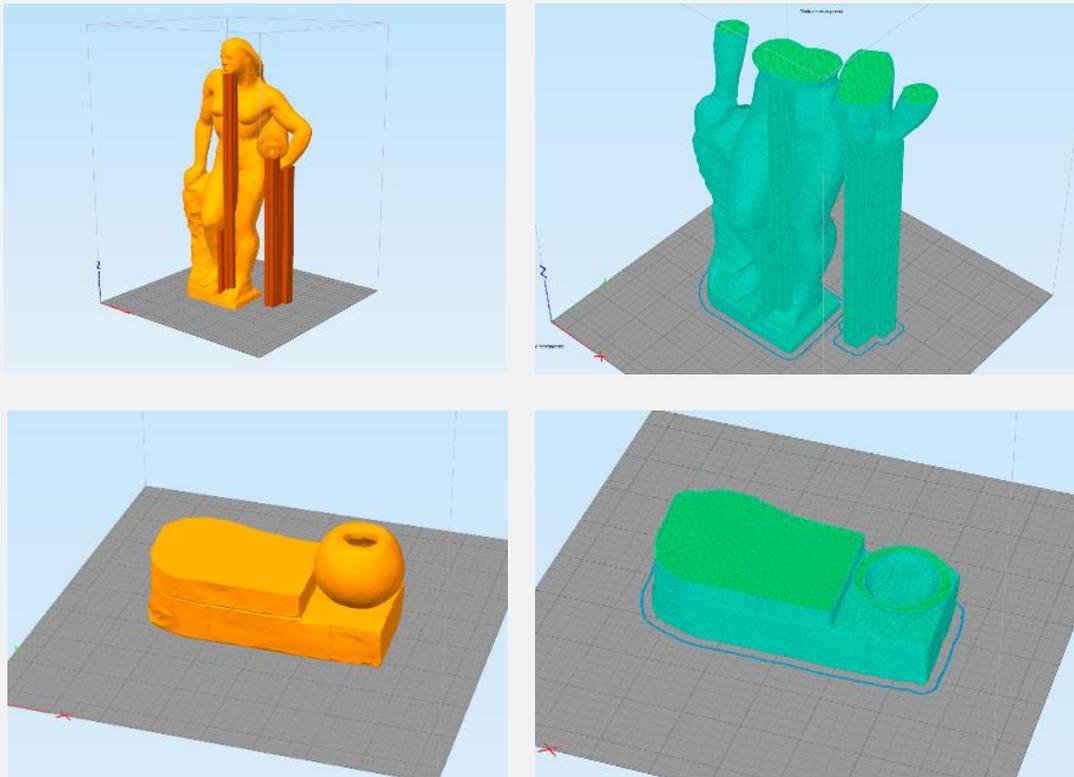


FIG. 49ab

FIG. 50ab

Selección de la impresión con *Simplify3D* para las dos secciones de la pieza

FIG. 51

FIG. 52

Impresión de las dos secciones

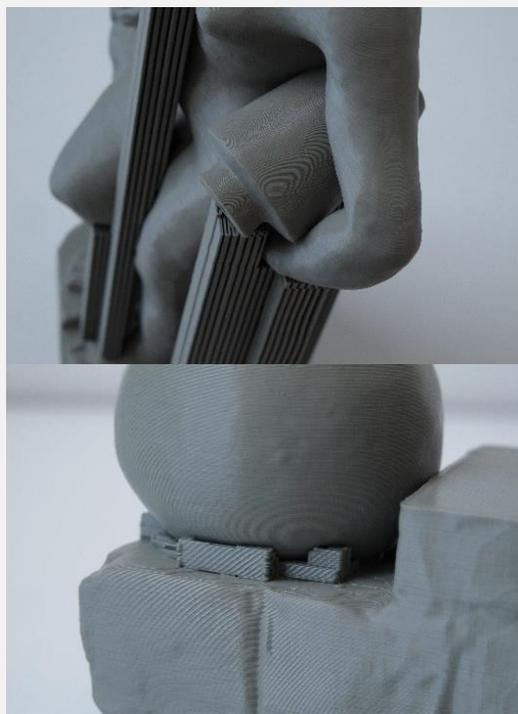


Figura con los soportes de impresión **FIG. 53** **FIG. 54ab** Detalles de soportes de impresión



Frontal pieza impresa y unida **FIG. 55** **FIG. 56** Trasera pieza impresa y unida

4. Resultados

A la hora de tomar los datos, para generar el modelo tridimensional a partir de los tres sistemas utilizados, se entiende que la fotogrametría sería uno de los sistemas al que un mayor número de personas podría acceder, toda vez que únicamente es necesaria una cámara fotográfica y un *software* especializado.

Sabiendo esto, y disponiendo de escáneres 3D de luz estructurada, el sistema que más rápido realiza la toma de datos es el escáner *Eva* de *Artec 3D*, pero este incluye un tiempo de procesado de 3 horas, aproximadamente. Mientras que el escáner *EinScan-SP* tiene un procesado de 30 minutos.

Pero en cuanto a los modelos obtenidos mediante cada uno de los sistemas, claramente el del *EinScan-SP* tiene una resolución mucho mayor con un número de polígonos de 7.380.752. Al igual que respeta la escala del objeto original, con unas medidas prácticamente exactas. Por último, la textura más fiel al color original de la pieza es la obtenida mediante fotogrametría.

De todo esto se concluye que, para un trabajo más rápido en el que no se pretenda obtener un modelo muy detallado, se podría utilizar el escáner *Eva* de *Artec 3D*, pero para conseguir un modelo lo más fiel al original es más conveniente el uso del escáner *EinScan-SP*, mientras que, para obtener una mejor textura, deben usarse las técnicas fotogramétricas.

En consecuencia, en este caso, para obtener una buena digitalización de la obra, deben combinarse ambas técnicas: el escáner *EinScan-SP* para obtener el modelo, y la fotogrametría con la cámara *Powershot G12*, para obtener la mejor textura.



Imágenes *render* resultantes de la digitalización **FIG. 57-58**
La generación de estas imágenes se realiza en el *software Maya* de Autodesk

Una vez dispusimos del archivo 3D con las medidas y la geometría óptima de la pieza, fue relativamente sencillo realizar una restauración virtual de la misma. Utilizando herramientas de modelado digital se procedió a eliminar las grietas de rotura y a la reconstrucción del cántaro perdido. Los resultados de esta restauración virtual quedan plasmados en diferentes imágenes *render*, donde la pieza puede ser iluminada y recontextualizada, visualizándose desde cualquier punto de vista.

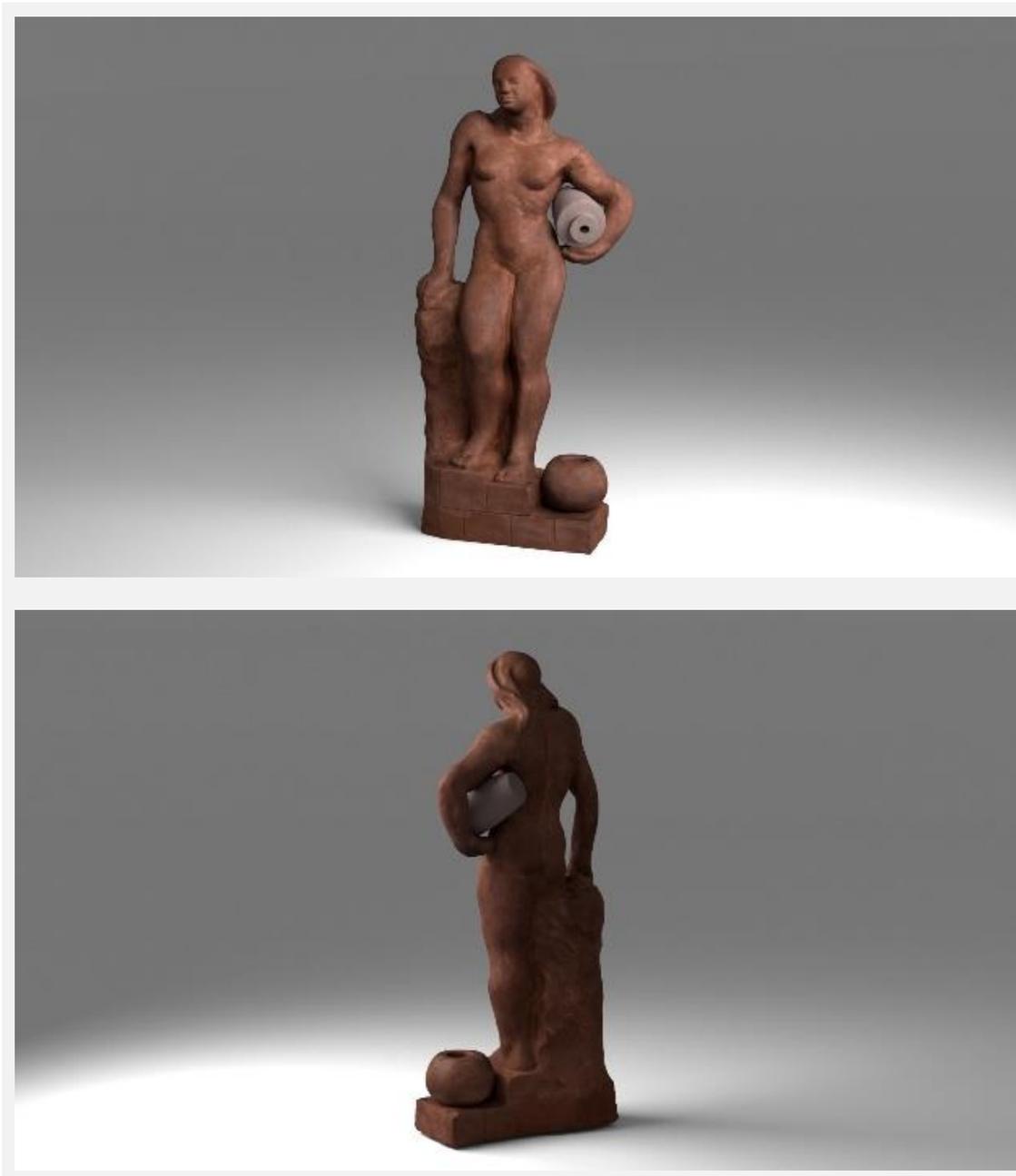


FIG. 59-60 Imágenes *render* resultantes de la restauración digital

La impresión de la obra en 3D, a escala real, ha permitido crear una réplica de la obra con una gran fidelidad. Al seleccionar la impresión del modelo tridimensional restaurado, esta réplica aporta una visión de cómo era la obra en su estado original.

La resolución de esta impresión tiene un alto detalle siendo muy fiel a la obra original, gracias también a la resolución del modelo 3D obtenido. Al mismo tiempo, el color seleccionado, aumenta la visión de ese detalle sin desvirtuarlo.



FIG. 6.1ab Comparativa general de la pieza impresa con la pieza original

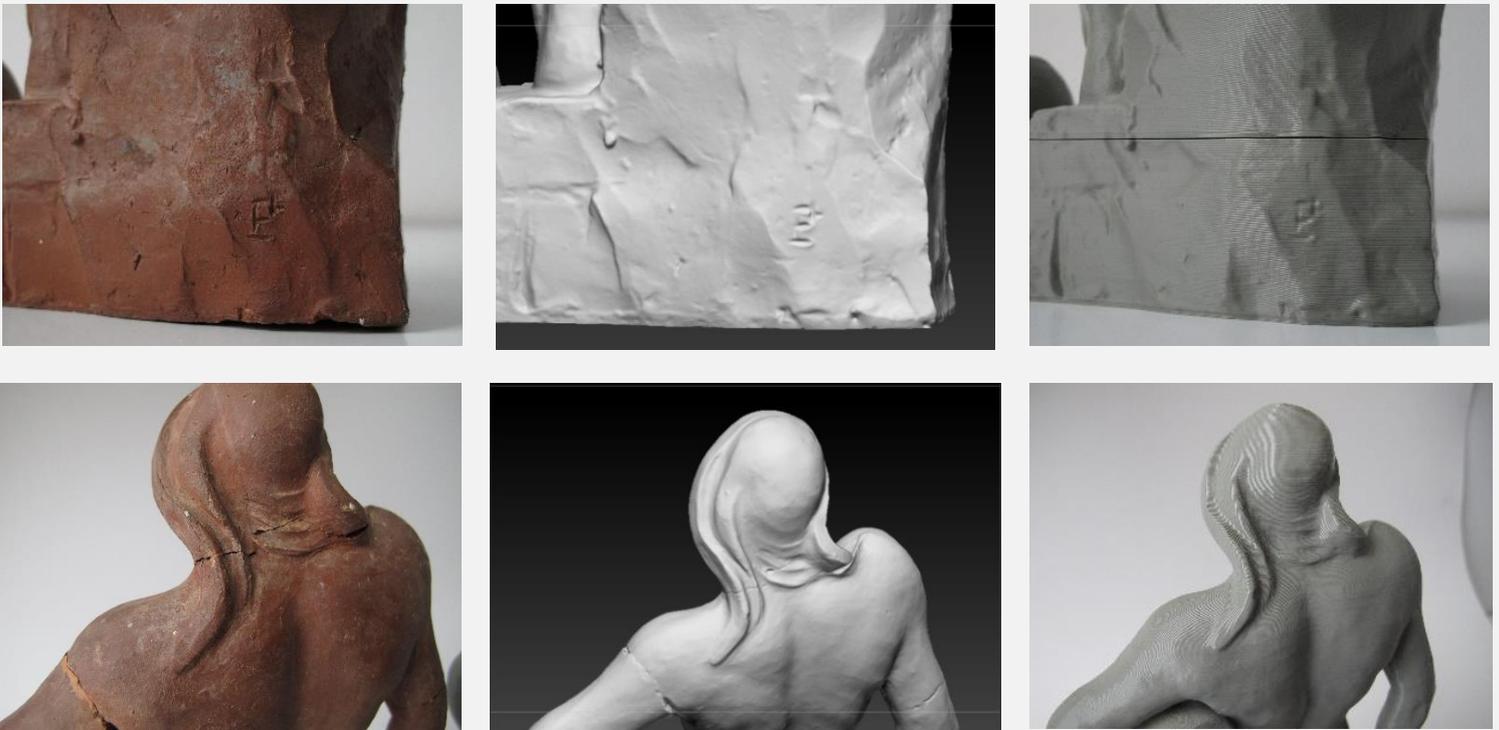


FIG. 6.2 Comparativa detallada

5. Conclusiones

Los procesos de digitalización tridimensional se han convertido en herramienta indispensable para el análisis, documentación y divulgación del patrimonio escultórico y tridimensional. Estos procesos vienen a enriquecer las técnicas tradicionales aplicadas.

Los sistemas de digitalización utilizados en este trabajo permiten la obtención de modelos tridimensionales de muy alta resolución geométrica, destacando los resultados obtenidos con escáner de luz estructurada sobre los archivos que provienen de procesos por Fotogrametría. Sin embargo, las texturas que recogen la apariencia externa de los modelos son mejores en los procesos fotogramétricos, esto es debido a la calidad óptica de las cámaras réflex utilizadas, si las comparamos con las ópticas que incorporan los escáneres. Al final de este trabajo se apunta una posible solución a este problema, que pasaría por la combinación de la mejor geometría escaneada, con la textura de la fotogrametría. Este proceso es complejo y requiere de un conocimiento avanzado en software de modelado 3D, pero apuntan futuras líneas de investigación.

6. Bibliografía

Abatido [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

BELLIDO, M. L. El binomio patrimonio-tecnologías: nuevos desafíos. [en línea]. Revista *PH*, 2003, nº46, p. 44-45. [Consulta: 05-04-2018]. Disponible en: <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/1628#.Wz6zTNJKi00>

BENÍTEZ, A. La Fuente de Enrique Cejas Zaldívar [documento gráfico] En: Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015. [Consulta: 07-02-2018]. Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

COLOMO, C; PÉREZ, J. L; GÓMEZ J. M; ROSALES, F. J. Metodología y Aplicación práctica para la digitalización de patrimonio cofrade mediante la fusión de datos de láser escáner y fotogramétricos. En 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation "ARQUEOLÓGICA 2.0" [en línea]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016, p. 110-117. [Consulta: 06-05-2018]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/85570>

CREAFORM. Conservación del patrimonio [en línea]. [Consulta: 25-06-2018]. Disponible en: <https://www.goscan3d.com/es/applications/conservacion-del-patrimonio>

DE VICENTE DOMÍNGUEZ, A. M. Nuevas formas de enculturación. Aportaciones de la digitalización a las artes plásticas [en línea]. *TELOS*, 2011, nº88, p.86-91 [Consulta: 15-05-2018]. Disponible en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/url-direct/pdf-generator?tipoContenido=articuloTelos&idContenido=2011072712570001&idioma=es>

DÍAZ GÓMEZ, F; JIMÉNEZ PEIRÓ, J; BARREDA BENAVENT, A; ASENSI RECUENCO, B. et al. Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual [en línea]. *Virtual Archaeology Review*, 2015, vol. 6 nº12, p.29-37. [Consulta: 07-05-2018]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/98106>

El pensante. Digitalización en la actualidad [en línea]. Bogotá: E-Cultura Group, 2016. [Consulta: 11-06-2018]. Disponible en: <https://educacion.elpensante.com/desventajas-de-la-digitalizacion/>

ESCRIVA ESTEVAN, F; MADRID GARCÍA, J. A. El mundo virtual en la restauración. Aplicaciones virtuales para la conservación y restauración del patrimonio. *ARCHÉ: Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPPV*, 2009-2010, nº 4-5, p. 11-20.

Exposición de obras del escultor Cejas Zaldívar (22 de marzo de 1945). *El Día*.

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, N. Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986). La angustia expresionista de un hombre tranquilo [en línea]. *Anales Real Academia Canaria de Bellas Artes de San Miguel Arcángel*, 2015, nº8, p.241-250. [Consulta: 10-04-2018]. Disponible en: https://issuu.com/racba/docs/racba_anales_n8_2015

GONZÁLEZ MUÑOZ, M. J; RUEDA RUIZ, A. J; SEGURA SÁNCHEZ, R. J; OGÁYAR ANGUIA, C. J. et al. Uso de sistemas basados en escáner 3D para digitalización y estudio del patrimonio arqueológico [en línea]. *Virtual Archaeology Review*, 2010, vol. 1 nº1, p.99-102. [Consulta: 08-06-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5237625>

GREFFE, X. Los efectos de la digitalización del patrimonio cultural: ¿Hacia un turismo creativo? [en línea]. *TELOS*, 2016, nº102, p.94-96 [Consulta: 06-05-2018]. Disponible en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/url-direct/pdf-generator?tipoContenido=articuloTelos&idContenido=2015110316520001&idioma=es>

JIMÉNEZ, J. G; GARCÍA, M; REVELLES, J; MELERO, F. J. Digitalización 3D y difusión en web del patrimonio de las Universidades Andaluzas mediante X3D y WebGL [en línea]. *Virtual Archaeology Review*, 2012, vol. 3 nº7, p.55-59. [Consulta: 20-03-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4341406>

La opinión de Tenerife. Artesanía canaria: el barro [en línea]. 2013. [Consultado: 16-04-2018]. Disponible en: <https://www.laopinion.es/blogs/mis-guachinches-parranderos/artesania-canaria-el-barro.html>

MATEOS RUSILLO, S. M. Innovación en la comunicación global del patrimonio cultural: TIC. *Revista Patrimonio Cultural de España*, 2010, nº4, p. 115-127.

MATTEINI, M.; MOLES, A. *Ciencia y restauración: método de investigación*. Hondarribia: Nerea, 2001.

ORTIZ CODER, P. Museo Virtual Hiperrealista [en línea]. *Virtual Archaeology Review*, 2012, vol. 3 nº7, p.23-26. [Consulta: 10-05-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4341373>

PEREIRA UZAL, J. M. Digitalizar vs. Modelar [en línea]. [Consulta: 03-04-2018]. Disponible en: <http://www.jpereira.net/apuntes-breves/digitalizar-vs-modelar>

PÉREZ REYES, C. *Escultura Canaria Contemporánea (1918-1978) Premio "Viera y Clavijo" 1980*. Gran Canaria: Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria, 1984.

RAMOS SIMÓN, L. F. Lo viejo y lo nuevo: el patrimonio cultural digitalizado. Preguntas de investigación. En *VI Jornada Profesional de la Red de Bibliotecas del Instituto Cervantes: La investigación española en Documentación: ¿en qué liga jugamos?* [en línea]. Madrid: 2013. [Consulta: 06-05-2018]. Disponible en: http://www.cervantes.es/imagenes/File/ponencia_fernando_ramos_rbic.pdf

RODRIGUEZ SILGO, A. Digitalización y virtualización del patrimonio cultural. Hacia un nuevo horizonte en la conservación-restauración [en línea]. *TELOS*, 2016, nº102. [Consulta: 27-03-2018]. Disponible en: https://telos.fundaciontelefonica.com/seccion=1268&idioma=es_ES&id=2015110316500003&activo=6.do

SAORÍN, J. L.; DE LA TORRE, J.; MEIER, C.; MELIÁN, D. et al. Creación, visualización e impresión 3D de colecciones online de modelos educativos tridimensionales con tecnologías de bajo coste. Caso práctico del patrimonio fósil marino de Canarias [en línea]. *Education in the Knowledge Society*, 2016, vol. 17 nº3, p.89-108. [Consulta: 20-03-2018]. Disponible en: https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/132126/1/Creacion%2c_visualizacion_e_impresion_3D_d.pdf

Soldado [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

TORRES, J.C.; CANO, P.; MELERO, J.; ESPAÑA, M. et al. Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio [en línea]. *Virtual Archeology Review*, 2010, vol. 1 nº1, p.51-54. [Consulta: 13-03-2018]. Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4768>

Torso [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

VIVES, J. (coord.); ALBERCH, R.; ALVÁREZ, J.; CUEVAS, A. et al. *Digitalización del patrimonio: archivos, bibliotecas y museos en la red*. 1ª Ed. Barcelona: UOC, 2009.

Wikipedia. Imagen de mapa de bits [en línea]. 2013 [Consulta: 21-05-2018]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_de_mapa_de_bits

Enrique Cejas en su taller [Documento gráfico]. En Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. 8 agosto 2015 [Consulta: 13-02-2018] Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

Enrique Cejas Zaldívar (1915-1986) [en línea]. [Consulta: 06-02-2018]. Disponible en: <https://enriquecejaszaldivar.wordpress.com/>

Artec 3D. User guide Artec Studio 12 [en línea]. [Consulta: 05-03-2018]. Disponible en: <http://docs.artec-group.com/as/12/en/>

CARO, J. L. Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. En *IX Congreso Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TuriTec'2012)* [en línea]. Málaga: Universidad de Málaga, 2012. [Consulta: 10-04-2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272166840_Fotogrametria_y_modelado_3D_un_caso_practico_para_la_difusion_del_patrimonio_y_su_promocion_turistica

HXX. Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico) [en línea]. Sevilla: 2015. [Consulta: 17-06-2018]. Disponible en: <http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>

MARQUÉS, N. F. Impresión 3D para sentir el patrimonio. Patrimonio Virtual y Divulgación Cultural [en línea]. [Consulta: 21-06-2018]. Disponible en: <http://nestormarques.com/impresion-3d-para-sentir-el-patrimonio/>

MOITINHO DE ALMEIDA, V; RIEKE-ZAPP, D. Generación de datos 3D con sistemas ópticos de medición de corto alcance. En JIMÉNEZ-BADILLO, D. *Arqueología Computacional: Nuevos enfoques para la documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural*. 1ª ed. Ciudad de México: Secretaria de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2017, p.93-109.

MORITA, M. M; BILMES, G. M. Técnicas de registro 3D para documentación de objetos patrimoniales [en línea]. XII Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio, Argentina: 2015. [Consulta: 07-06-2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305765889_TECNICAS_DE_REGISTRO_3D_PARA_DOCUMENTACION_DE_OBJETOS_PATRIMONIALES

PEREIRA UZAL, J. M; ROBLEDANO ARILLO, J. Uso de tecnologías 3D en la digitalización y difusión de documentos de alto valor patrimonial [en línea]. *El profesional de la información*, 2013, vol. 22 nº3, p.215-223. [Consulta: 13-04-2018]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4258448>

Exposición de Cejas Zaldívar, en el Círculo de Bellas Artes (26 de marzo de 1945). *Aire Libre*, p. 1.

7. Anexos

Los siguientes documentos corresponden a las especificaciones técnicas de la cámara, *Powershot G12* de *Canon*, y los escáneres de luz estructurada utilizados en este trabajo, *Eva* de *Artec 3D* y *EinScan-SP* de *Shining 3D*.



PowerShot G12
Specification Sheet

IMAGE SENSOR		
	Type	1/1.7 type CCD
	Effective Pixels	Approx. 10.0M
	Colour Filter Type	Primary Colour
IMAGE PROCESSOR		
	Type	DIGIC 4 with iAP5 technology
LENS		
	Focal Length	6.1 – 30.5 mm (35 mm equivalent: 28 – 140 mm)
	Zoom	Optical 5x. Digital Approx. 4x (with Digital Tele-Converter Approx. 1.4x or 2.3x and Safety Zoom [1]) [2]. Combined Approx. 20x
	Maximum f/number	f/2.8-f/4.5
	Construction	11 elements in 9 groups (1 double-sided aspherical element)
	Image Stabilisation	Yes (lens shift-type), 4-stop, Hybrid IS
FOCUSING		
	Type	TTL
	AF System/ Points	AiAF (Face Detection / 9-point), 1-point AF (Any position is available, fixed centre or Face Select and Track)
	AF Modes	Single, Continuous (only available in Auto mode), Servo AF/AE[10], Tracking AF
	AF Point Selection	Manual selection using FlexiZone AF/AE, Size (Normal, Small)
	AF Lock	On/Off Selectable
	AF Assist Beam	Yes
	Manual Focus	Yes
	Focus Bracketing	Yes
	Closest Focusing Distance	1 cm (W) from front of lens in macro
EXPOSURE CONTROL		
	Metering Modes	Evaluative (linked to Face Detection AF frame), Centre-weighted average, Spot (centre or linked to Face Detection AF or FlexiZone AF frame)
	AE Lock	Yes
	Exposure Compensation	+/- 2 EV in 1/3 stop increments Enhanced i-Contrast for automatic dynamic range correction ND Filter (3 stop)
	AEB	1/3 – 2 EV in 1/3 stop increments
	ISO Sensitivity [3]	AUTO, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 640, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3200
SHUTTER		
	Speed	1 – 1/4000 sec. (factory default) 15 – 1/4000 sec. (total range – varies by shooting mode)
WHITE BALANCE		
	Type	TTL
	Settings	Auto (including Face Detection WB), Daylight, Cloudy, Tungsten, Fluorescent, Fluorescent H, Flash, Underwater, Custom1, Custom2. White Balance Correction
VIEWFINDER		
	Viewfinder	Real-image zoom, optical viewfinder
	Dioptre Correction	Yes
LCD MONITOR		
	Monitor	Vari-angle 7.0 cm (2.8”) PureColor II VA (TFT), Approx. 461,000 dots
	Coverage	Approx. 100%
	Brightness	Adjustable to one of five levels. Quick-bright LCD
FLASH		
	Modes	Auto, Manual Flash On / Off
	Slow Sync Speed	Yes. Fastest speed 1/2000 sec.
	Red-Eye Reduction	Yes
	Flash Exposure Compensation	+/- 2 EV in 1/3 stop increments. Face Detection FE. Safety FE.
	Flash Exposure Lock	Yes
	Manual Power Adjustment	3 levels with internal flash (up to 19 levels with external EX Speedlites 270EX and 430EX II. 22 levels with 580EX II [4])
	Second Curtain Synchronisation	Yes
	Built-in Flash Range	50 cm – 7.0 m (W) / 4.0 m (T)
	External Flash	E-TTL with EX series Speedlites [4], Macro Twin Lite MT-24EX, Macro Ring Lite MR-14EX, Canon High Power Flash HF-DC1

SHOOTING		
	Modes	Auto*, Program AE, Shutter priority AE, Aperture priority AE, Manual, Custom (2 modes), Low Light (2.5MP), Quick Shot, SCN (Portrait, Landscape, Kids & Pets, Sports, Smart Shutter(Smile, Wink Self-Timer, FaceSelf-Timer), Super Vivid, Poster Effect, Foliage, Snow, Beach, Fireworks, Underwater, Color Accent, Color Swap, High Dynamic Range, Fish-eye Effect, Miniature Effect, Nostalgic, Stitch Assist), Movie *with Scene Detection Technology and Motion Detection Technology
	Photo Effects	My Colors (My Colors Off, Vivid, Neutral, Sepia, Black & White, Positive Film, Lighter Skin Tone, Darker Skin Tone, Vivid Blue, Vivid Green, Vivid Red, Custom Color)
	Drive Modes Continuous Shooting	Single, Continuous, Self-Timer Approx. 2.0 shots/sec.[6], AF: Approx. 0.7 shots/sec.[6], LV: Approx. 0.8 shots/sec.[6] (until memory card becomes full) [7]
RECORDING PIXELS / COMPRESSION		
	Image Size	4:3 - (L & RAW) 3648 x 2736, (M1) 2816 x 2112, (M2) 1600 x 1200, (S) 640 x 480, Resize in playback (M2, S, 320 x 240) 16:9 - (L) 3648 x 2048, (M1) 2816 x 1584, (M2) 1920 x 1080, (S) 640 x 360 3:2 - (L) 3648 x 2432, (M1) 2816 x 1880, (M2) 1600 x 1064, (S) 640 x 424 1:1 - (L) 2736 x 2736, (M1) 2112 x 2112, (M2) 1200 x 1200, (S) 480 x 480 4:5 - (L) 2192 x 2736, (M1) 1696 x 2112, (M2) 960 x 1200, (S) 384 x 480
	Compression	Fine, Normal
	Movies	(HD) 1280 x 720, 24 fps, (L) 640 x 480, 30 fps, (M) 320 x 240, 30 fps
	Movie Length	Miniature Effect (HD, L) 6fps, 3fps, 1.5 fps Up to 4 GB or 29 min. 59 sec. (HD) [11] Up to 4 GB or 1 hour (L, M) [7]
FILE TYPES		
	Still Image Type	JPEG compression, (Exif 2.3 [Exif Print] compliant) / Design rule for Camera File system, RAW, Digital Print Order Format [DPOF] Version 1.1 compliant
	Movies	MOV [H.264 + Linear PCM (stereo)]
DIRECT PRINT		
	Canon Printers	Canon SELPHY Compact Photo Printers and Canon Inkjet Printers supporting PictBridge (ID Photo Print, Fixed Size Print and Movie Print supported on SELPHY CP & ES printers only)
	PictBridge	Yes
OTHER FEATURES		
	Red-Eye Correction	Yes, during shooting and playback
	My Camera / My Menu	Start-up image and camera sounds customisation. Menu customisation
	My Category	Image tagging feature
	Intelligent Orientation Sensor	Yes
	Histogram	Yes, live histogram
	Playback Zoom	Approx. 2x - 10x
	Self Timer	Custom
	Menu Languages	English, German, French, Dutch, Danish, Finnish, Italian, Norwegian, Swedish, Spanish, Simplified Chinese, Traditional Chinese, Japanese, Russian, Portuguese, Korean, Greek, Polish, Czech, Hungarian, Turkish, Thai, Arabic, Ukrainian, Romanian, Farsi

INTERFACE		
	Computer	Hi-Speed USB (MTP, PTP) dedicated connector (Mini-B compatible)
	Other	HDMI Mini Connector (HDMI-CEC compatible) A/V output (PAL/NTSC)
MEMORY CARD		
	Type	SD, SDHC, SDXC, MMC, MMCplus, HCMMCplus
SUPPORTED OPERATING SYSTEM		
	PC & Macintosh	Windows 7 / Vista SP1-2 / XP SP3 Mac OS X v10.4 – 10.6
SOFTWARE		
	Browsing & Printing Other Image Manipulation	ZoomBrowser EX / ImageBrowser PhotoStitch Digital Photo Professional for RAW development
POWER SOURCE		
	Batteries	Rechargeable Li-ion Battery NB-7L (NB-7L battery and charger supplied)
	Battery Life	Approx. 370 shots [8] Approx. 420 min. playback
	A/C Power Supply	Optional, AC Adapter Kit ACK-DC50
ACCESSORIES		
	Cases / Straps Waterproof / Weatherproof Case	Soft Case DCC-660, SC-DC65A, DCC-1600 Waterproof Case (40m) WP-DC34, Waterproof Case Weight WW-DC1
	Lenses	Tele-converter 1.4x TC-DC58D Lens Adapter LA-DC58K Filter Adapter FA-DC58B (Compatible with Canon 58mm Filters: Circular Polarizing PL-C B, Neutral Density Filter ND4X-L & ND8X-L, Protect, UV, Softmat No.1 & 2)
	Flash	Canon Speedlites (including 220EX, 270EX, 430EX II, 580EX II [4]), Macro Twin Lite MT-24EX, Macro Ring Lite MR-14EX, Speedlite Transmitter ST-E2, Off-Camera Shoe Cord OC-E3, Bracket BKT-DC1, Speedlite Bracket SB-E2, High Power Flash HF-DC1
	Remote Controller/ Switch Power Supply & Battery Chargers Other	Remote Switch RS-60E3 AC Adapter Kit ACK-DC50, Battery Charger CB-2LZE Ring Accessory Kit RAK-DC2 Canon HDMI Cable HTC-100
PHYSICAL SPECIFICATIONS		
	Operating Environment	0 – 40 °C, 10 – 90% humidity
	Dimensions (WxHxD)	112.1 x 76.2 x 48.3 mm
	Weight	Approx. 401g (including battery/batteries and memory card)

All data is based on Canon standard testing methods (according to CIPA Standards) except where indicated. Subject to change without notice.

[1] Depending on the image size selected.

[2] Digital zoom available for still image and standard movie modes only. Optical zoom may not be available during movie recording.

[3] Standard Output Sensitivity / Recommended Exposure Index. According to ISO 12232:2006 (20th April 2006) which specifies the method for assigning and reporting ISO speed ratings for digital still cameras.

[4] Not all functions of the flash are supported.

[6] Under conditions where the flash does not fire.

[7] Depending on memory card speed / capacity / compression setting.

[8] Using the batteries and memory card format supplied with the camera (where included), except where

[10] Some settings limit availability.

[11] The following Speed Class memory cards are required for maximum record time: 1280 x 720, 30 fps Speed Class 4 or above. 1920 x 1080, 30 fps Speed Class 6.

Artec™ Eva

3D Scanner

Scan easier. Scan more.



Capture objects in seconds

Artec™ Eva 3D Scanner is similar to a video camera which captures in 3D. Simply turn it on and walk around the object recording. The scanner captures up to 16 frames per second and each frame is a 3D image. These frames are aligned automatically in real-time. This means that during scanning, you see what you have already captured and which areas of the object need more attention. This real-time feedback makes scanning easy and fast.

Extremely light and truly portable

Artec™ Eva 3D Scanner weighs 850 grams (1.9lbs), making it truly portable. This hand-held device will be useful in situations where you need to scan outside (like a scene of a car accident) or travel to objects that cannot be transported (like a museum).

High speed and accuracy

Capturing and simultaneously processing up to 288,000 points per second, **Eva** scans a dozen times faster than a laser scanner, while providing high resolution (up to 0.5mm) and high accuracy (up to 0.1mm).

No markers, no EM tracking, no calibration

Others have tried to create an easy-to-use scanner, but Artec succeeded. **Eva** does not require cumbersome calibration procedures at the beginning of each scanning session. **Eva** does not need markers to be placed on the object before scanning. **Eva** does not use electromagnetic tracking, so metal objects in the room do not interfere with performance or accuracy.

Luminous color

Artec™ Eva 3D Scanner captures color information at 24 bits per pixel (bpp) with a resolution of 1.3 megapixels (mp). Because of that high quality, **Eva's** textured models can be used in such industries as CG/Animation, forensics and medicine.

Capturing motion

Since **Artec™ Eva** 3D Scanner is in essence a 3D video camera, you can scan a moving object at up to 16 frames per second. This is especially important for the creation of special effects, medical and biomechanical research.

Software is included

Artec Studio, a powerful and constantly evolving software program, is included in the price of the scanner. Among other features, you can scan an object, fill holes, simplify the mesh, apply texture, smooth and measure the surface.

Almost unlimited possibilities

Artec scanners are used in countless industries for various purposes. Automotive, medicine, heritage preservation, computer graphics, design, forensics, education, reverse engineering, architecture, and quality control are just a few industries where Artec technology is becoming indispensable.



Artec™ Eva

3D Scanner

Scan easier. Scan more.

Artec™ Eva 3D Scanner
comes with
Artec Studio software

Specifications	Eva
Ability to capture texture	Yes
3D resolution, up to	0.5 mm
3D point accuracy, up to	0.1 mm
3D accuracy over distance, up to	0.15% over 100 cm
Texture resolution	1.3 mp
Colors	32 bpp
Light source	flash bulb (no laser)
Linear field of view, HxW @ closest range	214 mm x 148 mm
Linear field of view, HxW @ furthest range	536 mm x 371 mm
Angular field of view, HxW	30 x 21°
Working distance	0.4 – 1 m
Video frame rate, up to	16 fps
Exposure time	0.0002 s
Data acquisition speed, up to	288,000 points/s
Calibration	no special equipment required
Output formats	OBJ, PTX, STL, WRML, ASCII, AOP, CSV, PLY
Processing capacity	40'000'000 triangles/1GB RAM
Multi core processing	Yes
Dimensions, HxDxW	261.5 x 158.2 x 63.7 mm
Weight	0.85kg
Power consumption	12V, 48W
Interface	1x USB2.0
Compatibility	Windows Vista and Windows 7 – 64 bit
Minimum computer requirements	Intel® Core™ Quad, 4Gb RAM, NVIDIA GeForce 9 (9xxx) series
Stereo Support Requirements	NVIDIA Quadro or better

Visit our website to find out more –
www.artec3d.com



SHINING 3D®



SHINING3D Tecnología de escaneo, el escáner 3D nueva generación de escritorio

EinScan-SE & EinScan-SP

Versatil, Fácil & Rápido, Detalles finos

- Multifuncional, captura de datos 3D más fácil y rápido
- Modos de escaneo dual: escaneo automático y escaneo fijo
- Amplio rango de escaneo de pequeño a grande.



EinScan-SE



EinScan-SP

Especificaciones Técnicas

Modelo		EinScan-SE		EinScan-SP	
Modo de escaneo		Escaneo Fijo	Escaneo Automático	Escaneo Fijo	Escaneo Automático
Modo de alineación		Característica; Manual	Mesa giratoria; Manual	Característica; Marcadores; Manual	Mesa giratoria, Marcadores, Manual, Mesa giratoria con referencia
Exactitud de disparo único		≤0.1 mm		≤0.05 mm	
Volumen de escaneo mínimo		30 × 30 × 30 mm		30 × 30 × 30 mm	
Volumen de escaneo máximo		700×700×700mm	200×200×200mm	1200×1200×1200mm	200×200×200mm
Rango de captura individual		200 × 150 mm		200 × 150 mm	
Velocidad de escaneo		<8 s	<2 mins	<4 s	<1 min
Distancia del punto		0.17 mm ~ 0.2 mm		0.17 mm ~ 0.2 mm	
Textura		Si		Si	
Formato de archivo		OBJ, STL, ASC, PLY		OBJ, STL, ASC, PLY	
Resolución de la cámara		1.3 Mega Pixeles		1.3 Mega Pixeles	
Fuente de Luz		Luz blanca		Luz blanca	
Distancia entre mesa y escáner		290 ~ 480 mm		290 ~ 480 mm	
Requisitos de Computadora	Tarjeta gráfica	Nvidia series memoria gráfica > 1GB;		Nvidia series (GTX 660 o más alto) memoria gráfica > 2GB;	
	Interfaz	1 × USB 2.0 or 3.0		1 × USB 2.0 or 3.0	
	Windows	Win7, Win8, Win10 (64 bit)		Win7, Win8, Win10 (64 bit)	
	CPU	Dual-core i5 o más alta		Dual-core i5 o más alta	
	RAM	>8 GB		>16 GB	
Peso (desempaquetado)		2.5 kg		4.2 kg	
Peso (empaquetado)		4.9 kg		7.0 kg	
Dimensiones		570×210×210 mm		570×210×210mm	
Suministro de alimentación		50 w		50 w	
Voltaje de entrada		DC: 12 v, 3.33 A		DC: 12 v, 3.33 A	
Tablero de calibración		Estandar		HD	
Mesa giratoria		Estandar		Mesa Giratoria con referencias	
Capacidad de carga de la mesa giratoria		5 kg		5 kg	

