

TESIS DOCTORAL



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

*Programa de Doctorado Tecnologías de la Computación e
Ingeniería Ambiental*

Optimización de los Flujos de Trabajo de las principales Técnicas
de Digitalización 3D y Aplicación de las Nuevas Tecnologías
para la Preservación y Divulgación del Patrimonio Escultórico
Religioso en Madera Policromada

Autor/a:

Paloma Sánchez Allegue

Directores/as:

Dr. D. Rafael Melendreras Ruiz

Dr. Dña. María Teresa Marín Torres

Murcia, Septiembre de 2023

TESIS DOCTORAL



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

*Programa de Doctorado Tecnologías de la Computación e
Ingeniería Ambiental*

Optimización de los Flujos de Trabajo de las principales Técnicas
de Digitalización 3D y Aplicación de las Nuevas Tecnologías
para la Preservación y Divulgación del Patrimonio Escultórico
Religioso en Madera Policromada

Autor/a:

Paloma Sánchez Allegue

Directores/as:

Dr. D. Rafael Melendreras Ruiz

Dr. Dña. María Teresa Marín Torres

Murcia, Septiembre de 2023

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Rafael Melendreras Ruiz y la Dra. Dña. María Teresa Marín Torres, como Directores⁽¹⁾ de la Tesis Doctoral titulada “Optimización de los Flujos de Trabajo de las principales Técnicas de Digitalización 3D y Aplicación de las Nuevas Tecnologías para la Preservación y Divulgación del Patrimonio Escultórico Religioso en Madera Policromada” realizada por Dña. Paloma Sánchez Allegue en el Programa de Doctorado Tecnologías de la Computación e Ingeniería Ambiental, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011 de 28 de enero, en Murcia a 18 de Septiembre de 2023.



Rafael Melendreras Ruiz



María Teresa Marín Torres

⁽¹⁾ Si la Tesis está dirigida por más de un Director tienen que constar y firmar ambos.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se inició oficialmente en 2021 con investigaciones nacidas en 2019, sin embargo, su concepción comenzó en mi mente mucho tiempo atrás. A lo largo de estos años y tras muchas conversaciones, con muchas personas distintas, si de algo estoy plenamente convencida es, que la culminación de esta tesis no hubiera sido posible sin la colaboración y el apoyo de un selecto grupo de personas, empresas e instituciones. La ayuda, dedicación y colaboración de todos ellos fueron el pilar fundamental de mi ímpetu para seguir adelante.

Mi primer agradecimiento sólo puede ser para la empresa DRÓNICA, en la cual invertí muchas horas de mi tiempo y esfuerzo, y que en pocos años se transformaron en conocimiento, experiencia y también en amistad. Tengo unos recuerdos maravillosos de esta época, pero, sobre todo, guardo un profundo agradecimiento a cada uno de los miembros de DRÓNICA por su apoyo y colaboración incondicional, en especial a Pedro García Trenza y Antonio Saura Campos, ya que, algunos de los trabajos presentados en la tesis se realizaron con sus equipos y recursos.

Soy incapaz de pensar en DRÓNICA sin pensar en FLUID 3D. Quiero agradecer a Asier Álvarez de la Hoz su valiosa contribución y trabajo, en uno de los proyectos presentados en esta tesis, pues fue él quien imprimió la réplica del busto del Cristo de la Sangre, así como su impulso en realizar un trabajo que nos dio más de un quebradero de cabeza, nunca mejor dicho. Su experiencia, conocimiento de la materia de impresión 3D y recomendaciones fueron clave para que este proyecto finalizara con éxito.

Si en estos años he hablado con una persona casi tan entusiasta como yo en las nuevas tecnologías y en sus múltiples aplicaciones en el sector del Patrimonio, ese ha sido sin duda, Jorge Martínez Reyes. Quiero expresar mi enorme gratitud a Jorge, por su ayuda prestada en los cálculos matemáticos de uno de los artículos,

su conocimiento en el paso del Cristo de la Sangre y sus representaciones de los resultados que fueron de gran valor para el artículo.

En cuanto a las instituciones, nada de esta tesis hubiera sido posible sin la colaboración y buena disposición de la Cofradía de la Sangre. Pues no sólo han creído en la trascendencia y aportación de estas investigaciones, sino que, además, me han acogido como si de una cofrade más, de su cofradía, me tratase. Quiero agradecer a Carlos Valcárcel Siso, por abrirme las puertas de su “casa” y brindarme acceso a todo su patrimonio, recursos e información para esta investigación, así como a todas las personas de la cofradía que me han ayudado y han compartido su tiempo conmigo. En última instancia quiero agradecer a la Cofradía de la Sangre el compromiso que ha tomado estos últimos años para digitalizar el patrimonio de su museo, haciendo una labor documental y de salvaguarda digital sin comparación.

Otras instituciones que destacaron por su inmediata disposición a colaborar en estos proyectos fueron CaixaBank y la ONCE. Gracias a su apoyo incondicional fue posible llevar a cabo la reproducción del busto del Cristo de la Sangre. La visita de los voluntarios de la ONCE al museo y su participación en la experiencia táctil, descrita en uno de los artículos, dejaron un recuerdo inolvidable en mi memoria. Sus opiniones, entusiasmo y contribución nos recordaron la importancia de hacer a nuestros museos accesibles y de difundir el patrimonio, de formas que lo vuelvan mucho más inclusivo para todos. Dentro de este proyecto también quiero agradecer tanto a todas las personas que lo hicieron posible, desde los pintores del busto, el peluquero que realizó la peluca, etc. como a los miembros del grupo de expertos en arte e invidentes que también participaron en el experimento.

No puedo olvidar a todos los voluntarios que generosamente dedicaron su tiempo y esfuerzo para participar en los estudios y encuestas de la tesis. Les estoy profunda y eternamente agradecida, pues su colaboración y buena disposición fueron fundamentales para el desarrollo de las investigaciones pertinentes.

Por último, y a los que verdaderamente les debo mi agradecimiento más profundo son a mis directores, Rafael Melendreras Ruiz y María Teresa Marín

Torres, pues, el entendimiento con ellos ha sido pleno en todas las fases de la tesis. El tesón de Rafa y la sensibilidad de María Teresa han dejado una huella imborrable en mí, con los que espero continuar compartiendo momentos, nuevas investigaciones y experiencias, que me hagan crecer como profesional e investigadora pero también como persona.

Sin embargo, si ha habido alguien que me ha padecido todo este tiempo incluso más que mis directores, esos han sido mi familia y amigos. Todas aquellas personas que han estado a mi lado simplemente escuchando mis pensamientos, alegrándose por mis logros, apoyándome y acompañándome en esta etapa de mi vida, se lo agradezco intensamente.

En definitiva, a todos y cada uno de los mencionados, a los que están y a los que no están, mi más sincero agradecimiento por haber recorrido este camino conmigo.

GRACIAS

*"Explorando los límites del conocimiento,
abriendo puertas hacia el futuro".
Marie Curie*

PUBLICACIONES FUERA DEL COMPENDIO

ARTÍCULO 1 – C1 – Publicado.

Concepción de la Peña Velasco, Josefina García León, Paloma Sánchez Allegue (2017) *“Documentación, conservación y difusión de un retablo a través de la Geomática: el retablo barroco de la Iglesia de San Miguel en Murcia”*. E-rph, 21, 67-90. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/erph/article/view/17901>

ARTÍCULO 2 – Q1 – Publicado

Josefina García León, Paloma Sánchez Allegue, Concepción de la Peña Velasco, Cipriani, Filippo Fantini (2018). *“Interactive dissemination of the 3D model of a Baroque Altarpiece: A pipeline from digital survey to game engines”*. SCIRES-IT, 8(2), 59-76. <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v8n2p59>

ARTÍCULO 3 – C1 – Publicado.

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue. (2020) *“Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel”*. Erph_ Revista electrónica De Patrimonio Histórico, (27), 52-83. <https://doi.org/10.30827/erph.v0i27.17901>.

ARTÍCULO 4 – Q1 – Pendiente de publicación.

Rafael Melendreras Ruiz, Paloma Sánchez Allegue, María Teresa Marín Torres, Manuel Pardo Ríos, José Joaquín Cerón Madrigal, Damián Escribano Tortosa. *“Analysis of the user experience (On site vs Virtual Reality) through biological markers and cognitive tests in museums. The case of Museo Cristo de la Sangre (Murcia, Spain)”*. Virtual Reality. <https://www.springer.com/journal/10055>

PUBLICACIONES DENTRO DEL COMPENDIO

ARTÍCULO 5 – Q1 – Publicado.

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue. (2022) *“Comparative analysis between the main 3D scanning techniques: Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in religious imagery: The case of the Christ of the Blood”*. Journal on Computing and Cultural Heritage (15), 1, Article 18, 23 pages. <https://doi.org/10.1145/3469126>

ARTÍCULO 6 – Q1 – Publicado.

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue, Jorge Martínez Reyes. (2022) *“The sculpture of the Christ of the Blood: Structural mechanical analysis based on 3D models and video techniques for the study of recurrent pathologies”*. Journal of Cultural Heritage, (54), pp. 59-67, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.001>.

ARTÍCULO 7 – Q1 – Publicado.

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue. (2022) *“Development of a Touchable Replica for Inclusive Experiences of Religious Artifacts.”*. Curator: The Museum Journal. Volumen 65. Issue 2, pp. 305-331, <https://doi.org/10.1111/cura.12469>

RESUMEN

Las tecnologías digitales están afectando y modificando prácticamente todos los aspectos de nuestras vidas. Han cambiado la forma en la que nos comunicamos, aprendemos y nos relacionamos con el mundo que nos rodea. También nuestra forma de visualizar, preservar y disfrutar de nuestro patrimonio ha cambiado. La presente tesis muestra el potencial de la digitalización 3D y de las tecnologías emergentes para la conservación, restauración y recuperación del patrimonio, describiendo los flujos de trabajo de las principales técnicas de digitalización 3D y la aplicación de las nuevas tecnologías en los campos del patrimonio, la accesibilidad, el aprendizaje y la divulgación científica, histórica y artística. Dicha tesis se desarrolla a través de la modalidad de compendio de publicaciones, con la presentación de varios artículos científicos en revistas de alto índice de impacto, indexadas en JCR.

Por un lado, fuera del compendio nos encontramos con dos artículos, el número 1 y 2) donde se emplean técnicas de digitalización 3D para la documentación del patrimonio artístico, cultural y religioso, concretamente de dos retablos barrocos. Entre ellos también se encuentra el artículo que da pie a toda la investigación sucesiva y perteneciente a esta tesis, el artículo 3. Este artículo trata sobre el flujo de trabajo de la fotogrametría para la digitalización de la escultura religiosa policromada del Cristo de la Sangre. Por último, también fuera del compendio, encontramos el último artículo, el número 4, que trata sobre una investigación en la cual, se analiza la técnica de la recreación digital y virtual de un entorno museístico para analizar la visión e interacción del visitante en un museo online interactivo. Con ello, se utilizan las tecnologías digitales como motor impulsor del desarrollo de nuevos paradigmas del patrimonio cultural. Este artículo se encuentra en vía de publicación.

Por otro lado, dentro del compendio, se encuentra el artículo 5, que realiza la digitalización de la misma escultura mediante las técnicas de escáner láser y escáner de luz estructurada. En este artículo se analizan las diferentes cuestiones relacionadas con los equipos utilizados y las aplicaciones que admiten. Se obtienen

los flujos de trabajo y los procesos de utilización de las técnicas de digitalización 3D de fotogrametría, escáner láser y escáner de luz estructurada, mostrando el conocimiento y la experiencia en la utilización de estos equipos. En el artículo 6, se muestran las múltiples utilidades que los modelos 3D presentan actualmente en el campo del patrimonio, convirtiéndose en un producto ya activamente demandado entre restauradores, conservadores y gestores del patrimonio. Se realiza un estudio mecánico de la estructura del Cristo de la Sangre mientras éste desfila en procesión, a partir del modelo 3D y las técnicas de procesamiento de vídeo. Como resultado, se efectúan recomendaciones para minimizar los efectos observados para su mayor protección y conservación, como independizar la cruz de la talla, reducir el número de puntos de anclaje entre ambas, efectuar modificaciones en el paso o hasta incluso plantearse la reproducción total o parcial de zonas afectadas de la talla. Por último, en el artículo 7, se investiga el uso y las aplicaciones que estos modelos 3D posibilitan a través de la aplicación de las nuevas tecnologías, entre ellas, la impresión 3D, Realidad Virtual, etc. para colaborar en la preservación, accesibilidad y divulgación del patrimonio, mediante el análisis de una experiencia multisensorial de la réplica de un busto realizado mediante impresión 3D ante un grupo de invidentes.

ABSTRACT

Digital technologies are affecting and changing virtually every aspect of our lives. They have changed the way we communicate, learn and relate to the world around us. It has also changed the way we view, preserve and enjoy our heritage. This thesis shows the potential of 3D scanning for heritage conservation, restoration and recovery, describing the workflows of the main 3D scanning techniques and the application of new technologies in the fields of heritage, accessibility, learning and scientific, historical and artistic dissemination. This thesis is developed in the form of a compendium of publications, with the presentation of several scientific articles in high impact index journals, indexed in JCR.

On the one hand, outside the compendium we find several articles (articles 1 and 2) where 3D scanning techniques are used for the documentation of artistic,

cultural and religious heritage, specifically of two baroque altarpieces. Among them is also the article that gives rise to all the subsequent research and belongs to this thesis. Article 3 deals with the photogrammetric workflow for the digitisation of the polychrome religious sculpture of the Cristo de la Sangre. Finally, outside the agreement, we find the last article, number 4, which deals with a research in which the technique of digital and virtual recreation of a museum environment is analysed in order to analyse the vision and interaction of the visitor in an interactive online museum. In doing so, digital technologies are used as a driving force for the development of new paradigms of cultural heritage. This article is in the process of being published.

On the other hand, within the agreement, there is article 5, which carries out the digitisation of the same sculpture using laser scanning and structured light scanning techniques. This article analyses the different issues related to the equipment used and the applications they support. The workflows and processes for using the 3D digitisation techniques of photogrammetry, laser scanner and structured light scanner are obtained, showing the knowledge and experience in the use of this equipment. Article 6 shows the multiple uses that 3D models currently have in the field of heritage, making them a product that is already in active demand among restorers, conservators and heritage managers. A mechanical study of the structure of the Cristo de la Sangre while it is paraded in procession is carried out, based on the 3D model and video processing techniques. As a result, recommendations are made to minimise the effects observed for its greater protection and conservation, such as making the cross independent from the carving, reducing the number of anchoring points between the two, making modifications to the throne or even considering the partial reproduction of affected areas of the carving. We then investigate the use and applications that these 3D models make possible through the application of new technologies, including 3D printing, Virtual Reality, etc. to collaborate in the preservation, accessibility and dissemination of heritage, through the analysis of a multi-sensory experience of the replica of a bust made by 3D printing in front of a group of blind people.

PALABRAS CLAVE

Digitalización 3D, Nuevas Tecnologías, Impresión 3D, Realidad Virtual, Modelos 3D, Patrimonio, Conservación, Divulgación.

KEYWORDS

3D Digitalisation, New Technologies, 3D Printing, Virtual Reality, 3D Models, Heritage, Conservation, Dissemination.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|--------------|---|-----------|
| I - | INTRODUCCIÓN..... | 24 |
| II - | JUSTIFICACIÓN | 30 |
| III - | OBJETIVOS..... | 36 |
| IV - | PUBLICACIONES..... | 38 |
| 4.1. | PUBLICACIONES FUERA DEL COMPENDIO | 38 |
| 4.1.1. | ARTÍCULO 1..... | 38 |
| 4.1.1.1. | Resumen | 38 |
| 4.1.1.2. | Metodología y discusión | 38 |
| 4.1.1.3. | Conclusión..... | 39 |
| 4.1.2. | ARTÍCULO 2..... | 40 |
| 4.1.2.1. | Resumen | 40 |
| 4.1.2.2. | Metodología y discusión | 40 |
| 4.1.2.3. | Conclusión..... | 41 |
| 4.1.3. | ARTÍCULO 3..... | 42 |
| 4.1.3.1. | Resumen | 42 |
| 4.1.3.2. | Metodología y discusión | 43 |
| 4.1.3.3. | Conclusiones | 44 |
| 4.1.4. | ARTÍCULO 4..... | 45 |
| 4.1.4.1. | Resumen | 45 |
| 4.1.4.2. | Metodología y discusión | 46 |
| 4.1.4.3. | Conclusiones | 47 |
| 4.2. | PUBLICACIONES DENTRO DEL COMPENDIO | 48 |

| | | |
|---------------|--|------------|
| 4.2.1. | ARTÍCULO 5..... | 48 |
| 4.2.1.1. | Resumen | 49 |
| 4.2.1.2. | Metodología y discusión | 49 |
| 4.2.1.3. | Conclusiones | 50 |
| 4.2.2. | ARTÍCULO 6..... | 51 |
| 4.2.2.1. | Resumen | 51 |
| 4.2.2.2. | Metodología y discusión | 52 |
| 4.2.2.3. | Conclusiones | 54 |
| 4.2.3. | ARTÍCULO 7..... | 55 |
| 4.2.3.1. | Resumen | 55 |
| 4.2.3.2. | Metodología y discusión | 55 |
| 4.2.3.3. | Conclusiones | 57 |
| V - | CONCLUSIONES | 60 |
| VI - | LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN | 66 |
| VII - | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 69 |
| VIII - | ANEXOS | 73 |
| | ANEXO 1. CALIDAD DE LAS PUBLICACIONES | 73 |
| | ANEXO 2. COPIA COMPLETA DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS. | 141 |

SIGLAS Y ABREVIATURAS

LIDAR, Light Detection and Ranging.

TOF, Time of Flight (Tiempo de vuelo).

RV, Realidad Virtual.

RA, Realidad Aumentada.

IA, Inteligencia Artificial.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. CALIDAD DE LAS PUBLICACIONES

ANEXO 2. COPIA COMPLETA DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS.

I – INTRODUCCIÓN

I - INTRODUCCIÓN

Nuestra existencia ha sido profundamente impactada y transformada por las tecnologías digitales, las cuales, han generado cambios significativos en la forma en que nos comunicamos, adquirimos conocimientos y nos relacionamos con el entorno que nos rodea. En la última década, las nuevas formas de digitalizar se han introducido lentamente hasta que en los últimos años se ha vivido una aceleración constante por el uso de las nuevas tecnologías y métodos de registro, difusión y conservación de la información acerca del patrimonio cultural (Piccialli & Chianese, 2017).

El patrimonio histórico y cultural de nuestra sociedad es inestimable, representando una ventana al pasado y una fuente de conocimiento inigualable. La preservación y documentación precisa de estos tesoros patrimoniales se ha convertido en una tarea de vital importancia, que requiere de métodos y tecnologías avanzadas para su conservación y difusión. En este sentido, las técnicas de escáner y las nuevas tecnologías aplicadas al patrimonio han surgido como herramientas revolucionarias, permitiendo la captura tridimensional precisa de objetos y estructuras, así como su visualización y análisis en entornos digitales (Means, 2017).

En las últimas décadas, los escáneres, encontrando entre los más populares a los escáneres LIDAR, de Tiempo de Vuelo (TOF) o de luz estructurada, han ganado popularidad en el campo del patrimonio cultural debido a su capacidad para obtener datos tridimensionales altamente detallados y precisos de forma no invasiva. Una de las aplicaciones más destacadas de los escáneres en el ámbito del patrimonio es la documentación arquitectónica o la creación de réplicas digitales que sirvan de copias de seguridad digitales (Milosz et al., 2020). Tanto los objetos como los edificios históricos, monumentos y sitios arqueológicos pueden ser escaneados en su totalidad, creando modelos digitales tridimensionales altamente precisos. Estos modelos permiten un análisis exhaustivo de las estructuras, la

detección de daños o deterioros, así como la planificación de trabajos de restauración y conservación. La información capturada por el escáner proporciona un registro completo de la geometría y texturas de los objetos escaneados, con aportaciones indescriptibles para futuras investigaciones y estudios (Skublewska et al., 2022).

Además, la visualización de estos modelos en entornos virtuales o la creación de reconstrucciones virtuales proporciona una experiencia inmersiva y educativa para los visitantes, sin poner en peligro la integridad de los lugares reales. Gracias a las nuevas tecnologías, como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA), los escaneos tridimensionales pueden ser utilizados para recrear digitalmente sitios históricos y permitir a los usuarios explorar y experimentar el patrimonio de una manera interactiva. Esto amplía las posibilidades de aprendizaje y divulgación, acercando el pasado de manera única a personas de todas las edades y contextos culturales (Loaiza et al., 2020).

De esta manera, la digitalización y difusión del patrimonio en formato digital representa un avance significativo en la preservación y accesibilidad a nuestra herencia cultural. Este proceso no sólo implica la conservación de obras y patrimonio de valor, sino que también conlleva una serie de beneficios que impactan positivamente en diversos ámbitos y sectores. En primer lugar, la reducción de desplazamientos físicos hacia museos y sitios patrimoniales resulta en una notable disminución de emisiones contaminantes, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Además, al abrir las puertas virtuales de salas y museos, se reduce la polución y el desgaste que suelen sufrir las obras expuestas al público y las tareas de mantenimiento y conservación que éstas requieren. Asimismo, se garantiza una mayor seguridad para las obras al minimizar su exposición física. La accesibilidad que brinda la tecnología digital permite que colectivos con discapacidades o en riesgo de exclusión social, que no podrían permitirse viajar, puedan disfrutar y aprender de nuestra herencia cultural. Esta transformación también ha dado lugar a la creación de nuevos perfiles profesionales especializados en atender visitas virtuales, y en el diseño y desarrollo de Metaversos, marcando así un hito en la evolución de la industria cultural y turística. Por ello, la digitalización del patrimonio cultural no sólo preserva nuestro

legado, sino que también promueve un mundo más sostenible, inclusivo y tecnológicamente avanzado (Selmanović, 2020).

Otra aplicación importante de las técnicas de digitalización es la preservación de objetos de valor histórico y cultural. Obras de arte, artefactos antiguos y otros objetos patrimoniales frágiles pueden ser escaneados en alta resolución, capturando incluso los detalles más intrincados. Esto no sólo permite su documentación exhaustiva, sino que también facilita su estudio y análisis desde diferentes perspectivas sin el riesgo de dañar los originales. Los modelos digitales tridimensionales pueden servir como archivos digitales que garantizan la conservación de estos tesoros culturales incluso en caso de pérdida o destrucción física (Pei & Yi, 2022).

En los últimos años, las nuevas tecnologías aplicadas al patrimonio han ampliado aún más las posibilidades de las técnicas de digitalización. Por ejemplo, la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático pueden utilizarse para analizar grandes cantidades de datos capturados por los escáneres y extraer información significativa. Esto puede facilitar la identificación de patrones, la clasificación de objetos y la detección automática de cambios en estructuras y superficies, lo que agiliza los procesos de investigación y conservación (Fang et al., 2019).

Asimismo, las técnicas de escáner y las nuevas tecnologías aplicadas al patrimonio también están siendo utilizadas para la documentación y preservación de sitios patrimoniales en peligro. En casos de conflictos armados, desastres naturales o deterioro progresivo, estas tecnologías pueden desempeñar un papel crucial en la captura de información precisa antes de que se pierda irremediablemente. Estos datos pueden ser utilizados para futuras reconstrucciones, estudios comparativos y como un registro valioso de la historia y la cultura que se ha perdido.

De este modo, las técnicas de digitalización 3D y las nuevas tecnologías aplicadas al patrimonio han transformado la forma en que preservamos,

documentamos y difundimos nuestro legado cultural hoy en día. Estas herramientas avanzadas proporcionan una captura precisa y detallada de objetos, permitiendo su conservación digital y su visualización en entornos virtuales interactivos. La combinación de la tecnología y el patrimonio abre un mundo de posibilidades para la educación, la investigación y la apreciación de nuestra historia y cultura. Es fundamental seguir explorando y aprovechando estas tecnologías en beneficio de la preservación y difusión de nuestro patrimonio, asegurando su legado para las generaciones futuras (Bellido, 2013).

Este innovador campo de estudio es sin duda el punto de partida de la presente tesis. Ya que, la tecnología es actualmente la principal herramienta que nos permite abrir nuevas líneas y oportunidades tanto a los museos, instituciones, organizaciones como a propietarios independientes, para buscar nuevas formas de conservación y difusión del patrimonio desde una perspectiva diferente y con nuevos medios para continuar disfrutando del patrimonio cultural.

Por un lado, el Patrimonio Cultural Digital representa una investigación desafiante e innovadora, encontrándose en una época de transformación sin precedentes. Las herramientas que tenemos a nuestro alcance, escáneres 3D, Realidad Virtual (RV), Impresión 3D, etc. ofrecen un sinnúmero de oportunidades para actualizar el proceso de uso, conservación, gestión y disfrute del Patrimonio Cultural.

Por otro lado, la pandemia del COVID-19, ha confirmado la vulnerabilidad del Patrimonio debido a la incapacidad socialmente extendida de experimentar y disfrutar del patrimonio fuera de lugares únicamente físicos. Este escenario pandémico ha animado a toda la comunidad y sobre todo a las instituciones a considerar las redes de comunicación y tecnologías digitales y emergentes como motor impulsor del desarrollo de nuevos escenarios y nuevas formas de consumir el patrimonio cultural. Se han creado diferentes organizaciones y proyectos para tal fin, generando políticas y criterios comunes de digitalización que faciliten una mejor comprensión y accesibilidad de la información generada y compartida, que han perdurado hasta la fecha (Dewi et al. 2023).

Desde las más humildes posibilidades a las que esta tesis doctoral puede llegar, hemos querido participar y colaborar en la búsqueda de este objetivo, exponiendo de forma clara y concisa a través de varios artículos científicos la mejor forma de utilizar algunos métodos para digitalizar y capturar el patrimonio, mostrando el flujo de trabajo de tres técnicas diferentes de digitalización centrándonos en casos del patrimonio escultórico de índole religiosa de madera policromada. Su conservación y restauración a través de los nuevos estudios que posibilitan los modelos 3D y la utilización de las nuevas tecnologías. Así como, su difusión a través de nuevas herramientas como la Realidad Virtual o la Impresión 3D.

En la presente tesis, se analizan los flujos de trabajo y varios casos de estudio para explicar las peculiaridades de las técnicas de digitalización mediante fotogrametría computerizada, escáner láser y escáner de luz estructurada. Además, se muestran varios proyectos llevados a cabo en un museo de la Región de Murcia. En uno de ellos, se comparan las principales técnicas de digitalización 3D más utilizadas en Patrimonio exponiendo sus flujos de trabajo y procesos para llevarlas a cabo obteniendo la mayor calidad técnica posible. En otro de ellos, se analiza el estado de tensiones que sufre uno de los pies del Cristo de la Sangre al salir en procesión. Otro proyecto ha sido una experiencia multisensorial en torno al desarrollo de una réplica 3D para invidentes, a través de un modelo 3D generando una nueva forma de acceder al patrimonio a una parte de nuestra sociedad. Y, por último, se ha utilizado la Realidad Virtual para recrear una sala del Museo de la Sangre de Murcia en un metaverso público y de esta manera, llevar el patrimonio al espectador, rompiendo las barreras físicas y concretas de un único espacio museístico, siendo ahora accesible desde cualquier parte del mundo.

El definitiva, el objetivo principal de esta tesis es reunir las mejores prácticas en la definición de estrategias de transformación digital para el patrimonio cultural y museístico, fomentando el uso de las nuevas tecnologías y sus aplicaciones, mostrando, además, varios casos de éxito en el campo del Patrimonio Cultural Digital en museos, que en la presente tesis se exponen.

II – JUSTIFICACIÓN

II - JUSTIFICACIÓN

Para abordar los distintos campos de estudio en los cuales se encuentra esta tesis doctoral, se debe adoptar un enfoque multidisciplinar, ya que, abarca numerosas disciplinas académicas. La digitalización 3D y la aplicación de las nuevas tecnologías no sólo ha despertado un interés considerable en la comunidad científica, sino que también posee una manifiesta relevancia en el ámbito tecnológico, cultural, educativo y patrimonial. Esta investigación se erige como una contribución significativa a la comprensión y la optimización de los flujos de trabajo de las principales técnicas de digitalización 3D, dado su impacto directo en la preservación y conservación del patrimonio (Kantaros, 2023).

En un contexto donde la disparidad de enfoques en las técnicas y sus métodos de aplicación es considerable, y no siempre se encuentra adecuadamente documentada, da lugar a modelos 3D de calidades discutibles, con falta de detalle geométrico y texturas poco fidedignas. Por ello, se torna imperativo profundizar en los procesos de captura y procesamiento de los datos de las técnicas de digitalización 3D más utilizadas en la actualidad. Este enfoque busca demostrar el potencial de la digitalización 3D en términos de conservación y preservación del patrimonio, así como la optimización de los procedimientos en los flujos de trabajo empleados para garantizar una verificación técnica de alta calidad en los modelos. En última instancia, se persigue contribuir a la preservación, protección, accesibilidad y difusión del patrimonio a través de la aplicación de tecnologías innovadoras como la impresión 3D, Realidad Virtual, Metaversos, biomarcadores, entre otras (Skublewska-Paszkowska, 2022).

En primer lugar, la constante evolución de las tecnologías de digitalización brinda una oportunidad única para aportar nuevas contribuciones al campo del Patrimonio Cultural. La investigación en profundidad y la optimización de estos flujos de trabajo permiten aprovechar estos avances y desarrollar enfoques más

precisos y eficientes para la documentación y preservación del patrimonio. Esta investigación puede llevar a mejoras sustanciales en la calidad y la fidelidad de los modelos digitales, lo que es esencial para capturar y conservar con precisión los detalles de elementos patrimoniales, ya sean obras de arte, esculturas, edificios históricos, etc. (Li, 2023).

Por otro lado, otro aspecto importante que se debe tener en cuenta es la racionalización de recursos y tiempo. La optimización de los flujos de trabajo puede llevar a una utilización más eficiente de los recursos disponibles, lo que puede traducirse en la reducción de costos y tiempos en proyectos de documentación y conservación del patrimonio. Esto es particularmente relevante en un contexto en el que los recursos pueden ser limitados y la eficiencia es esencial. Esta limitación de recursos es una realidad común en el ámbito del patrimonio cultural, donde las instituciones y organizaciones a menudo deben operar con presupuestos ajustados. Además, es importante destacar que los bienes patrimoniales suelen encontrarse en lugares de culto o espacios históricos, los cuales pueden presentar limitaciones físicas para acceder y llevar a cabo procesos de documentación. La optimización de los flujos de trabajo se vuelve imprescindible para maximizar los resultados obtenidos con los recursos disponibles y para superar los desafíos logísticos que pueden surgir al trabajar en estos entornos específicos (Santana, 2020).

Otro aspecto a considerar es, que la accesibilidad a la tecnología para la digitalización 3D se presenta como una barrera significativa. Los altos costos asociados con licencias de software especializado, las prestaciones técnicas requeridas por los equipos y el desembolso económico para la adquisición de escáneres de alta calidad representan una limitación importante para muchos profesionales y organizaciones. Esta barrera financiera puede obstaculizar la participación activa en iniciativas de digitalización, especialmente para entidades con recursos limitados (Renee, 2021).

La problemática se amplía al considerar el nivel de experiencia requerido para dominar ciertas técnicas de digitalización 3D, como la fotogrametría computerizada o el manejo de escáneres específicos, que se convierte en un aspecto

crítico. Este proceso exige habilidades multidisciplinares que engloban áreas como óptica, fotografía y técnicas de iluminación para la captura precisa de datos. Sin embargo, la dificultad se agudiza en la etapa de post-procesamiento digital, que engloba tareas como la rectificación de imágenes, la fusión de datos y la creación de modelos 3D. La carencia de acceso a conocimientos especializados y a materiales didácticos puede, en general, disuadir de la adopción de estas técnicas y restringir el potencial de la digitalización en el ámbito del patrimonio cultural. Esta limitación subraya la importancia crítica de desarrollar estrategias de formación y facilitar el acceso a recursos educativos que apoyen la adquisición de estas competencias técnicas (Keşik, 2022).

En el contexto específico de la escultura religiosa policromada, se evidencia una notable ausencia de investigaciones previas en cuanto a la digitalización 3D, lo que destaca la necesidad de abordar esta brecha en el ámbito de la investigación y práctica contemporánea. La implementación de tecnologías 3D en este contexto puede aportar información valiosa para la preservación y el estudio de este tipo particular de patrimonio (Tong, 2023).

El patrimonio escultórico religioso en madera policromada posee un valor histórico, cultural y espiritual incalculable. A lo largo de los siglos, estas magníficas obras de arte han sido expresiones creativas que reflejan la esencia de diferentes culturas y creencias religiosas. Estas esculturas religiosas, presentes en iglesias, catedrales y museos de todo el mundo, constituyen un legado artístico invaluable que ha sido transmitido de generación en generación, estableciendo vínculos con nuestras raíces y dotándonos de una identidad colectiva. Sin embargo, este patrimonio se enfrenta a amenazas significativas en la actualidad, como el deterioro natural debido al paso del tiempo, daños causados por factores ambientales, eventos catastróficos y la acción del hombre, como el maltrato, el robo, el tráfico ilícito de bienes culturales o la incorrecta conservación. Por ello, muchas de estas obras han sufrido la pérdida de información histórica y cultural debido a la falta de documentación rigurosa y científica. La escasez de registros detallados sobre técnicas de elaboración, origen y contextos históricos asociados a estas esculturas religiosas ha dificultado una comprensión integral y precisa de su significado y relevancia cultural. Esta falta de información exhaustiva ha llevado a generarse

ciertas lagunas en el conocimiento, obstaculizando la realización de investigaciones académicas sólidas y la implementación de estrategias efectivas de conservación y divulgación (Sargentis, 2022). En este contexto abordar esta problemática adquiere una relevancia y significado profundos.

Por otro lado, la necesidad de desarrollar aplicaciones basadas en modelos 3D adquiere relevancia a partir de su capacidad para enriquecer la experiencia y el conocimiento del patrimonio. La difusión del patrimonio a través de aplicaciones digitales democratiza el acceso a la información patrimonial, permitiendo a un público más amplio explorar y aprender sobre obras de arte. Además, las aplicaciones pueden ser herramientas poderosas para la preservación y sostenibilidad, al reducir la necesidad de manipular objetos físicos, minimizando así el riesgo de daños y desgaste. Adicionalmente, estas aplicaciones pueden contribuir a la interacción y el compromiso de la comunidad con su patrimonio cultural. Al proporcionar una experiencia inmersiva o digital, se fomenta la participación activa de los visitantes y se les brinda la oportunidad de explorar y comprender más profundamente la riqueza histórica y artística de los bienes patrimoniales (Lauro, 2023). Esto puede generar un mayor sentido de pertenencia y orgullo en la comunidad local, fortaleciendo así el vínculo emocional con su legado cultural. En el ámbito educativo, las aplicaciones basadas en modelos 3D ofrecen una herramienta pedagógica excepcional. Facilitan la enseñanza y el aprendizaje al proporcionar a los estudiantes una experiencia inmersiva y práctica con el patrimonio cultural, lo que puede tener un impacto duradero en su comprensión y aprecio por la historia y la cultura (Mudička, 2023). Para contextos religiosos, estas aplicaciones pueden adquirir un significado aún más profundo. Permiten a los fieles interactuar de manera íntima con elementos patrimoniales de importancia espiritual, lo que puede potenciar el culto y la devoción. Esto crea una experiencia más enriquecedora y personal para los practicantes de la fe, fortaleciendo su conexión con la espiritualidad y el legado religioso de su comunidad (Florin, 2013).

En resumen, la optimización de los flujos de trabajo para la digitalización 3D y el desarrollo de aplicaciones basadas en modelos digitales 3D en patrimonio se

justifica en base a la necesidad de superar desafíos técnicos y financieros, así como para aprovechar el potencial de estas tecnologías en términos de accesibilidad, investigación, conservación y enriquecimiento de la experiencia patrimonial. Esta investigación no solo enriquece la experiencia y conocimiento del patrimonio, sino que también promueve la participación activa de la comunidad, mejora la educación y fortalece los vínculos espirituales en contextos religiosos. Así, se convierte en una herramienta valiosa para preservar y difundir el patrimonio cultural, enriqueciendo la vida de las personas y fortaleciendo su conexión con su herencia cultural y espiritual.

III – OBJETIVOS

III - OBJETIVOS

Los principales objetivos que se han alcanzado con la elaboración de esta Tesis Doctoral han sido los siguientes:

- Mostrar el potencial de la digitalización 3D para la conservación, restauración y recuperación del Patrimonio.
- Describir flujos de trabajos de la utilización de las técnicas de digitalización 3D: fotogrametría, escáner láser y escáner de luz estructurada.
- Optimizar los procesos expuestos en los flujos de trabajo llevados a cabo para la verificación técnica de su calidad.
- Investigar y evaluar nuevas tecnologías emergentes en el campo de la digitalización 3D y su aplicación en la preservación del patrimonio cultural.
- Colaborar en la preservación, conservación, accesibilidad y divulgación del patrimonio en el escenario de post Covid 19, mediante la aplicación de las nuevas tecnologías, impresión 3D, RV, Apps, pruebas, encuestas.
- Desarrollar aplicaciones innovadoras en la detección de daños y la planificación de las intervenciones sobre patrimonio escultórico a partir de modelos 3D.
- Contribuir a la mejora de la accesibilidad al patrimonio por parte de colectivos en riesgo de exclusión social.
- Evaluar el potencial de la realidad virtual en la interpretación y presentación de objetos de patrimonio cultural.
- Colaborar en instituciones locales en la preservación y digitalización de su patrimonio cultural, promoviendo la adquisición del patrimonio cultural digital.
- Fomentar las aplicaciones de casos de éxito en el campo del Patrimonio Cultural Digital.

IV - PUBLICACIONES

IV -PUBLICACIONES

4.1. PUBLICACIONES FUERA DEL COMPENDIO

4.1.1. ARTÍCULO 1

Erph_ Revista electrónica De Patrimonio Histórico, (21), 67-90, <https://revistaseug.ugr.es/index.php/erph/article/view/6725> . (2017)

“Documentación, conservación y difusión de un retablo a través de la Geomática: el retablo barroco de la Iglesia de San Miguel en Murcia”

4.1.1.1. *Resumen*

El conocimiento científico de los retablos es fundamental para poder acometer mejor su conservación y es importante darle una correcta difusión. Por ello, el objetivo de este artículo es realizar y dar a conocer el levantamiento gráfico tridimensional del retablo barroco de la Iglesia de San Miguel de Murcia con calidad métrica, reflexionar a partir de él sobre los procesos de creación artística y difundir la información a través de la utilización de plataformas informáticas libres, garantizando el acceso a los valores patrimoniales.

4.1.1.2. *Metodología y discusión*

El artículo discute la importancia de utilizar tecnologías avanzadas, como la fotogrametría digital y el láser escáner terrestre para la digitalización del patrimonio. En este caso, la unión de estas tecnologías fueron clave y permitieron obtener una información tridimensional precisa sobre el bien patrimonial de estudio. El proceso de trabajo del láser escáner se dividió en la toma de datos y el postproceso de dichos datos. Se menciona que se utilizaron múltiples estacionamiento con la estación híbrida Leica Nova MS50 para obtener una nube

de puntos con alta densidad del retablo de San Miguel. Además, se tomaron fotografías con una cámara integrada en el escáner láser y una cámara externa tipo réflex Canon EOS 1100D para texturizar el modelo. El artículo también destaca la importancia de la precisión en la documentación de obras de arte, especialmente en la conservación y restauración de patrimonio cultural. Se discuten los resultados obtenidos, incluyendo la información histórica y artística que se puede adjuntar a los elementos segmentados del modelo. Además, se menciona la posibilidad de realizar relecturas relacionadas con el proceso de creación artística. Por último, se destaca la importancia de difundir estos modelos tridimensionales texturizados en plataformas de acceso libre para la educación y divulgación del patrimonio cultural, así como para la conservación y estudio de obras de arte. También se menciona la posibilidad de hacer réplicas precisas de objetos y la importancia de hacer que la cultura y el patrimonio sean accesibles para personas con discapacidad. Además, se planea crear un corpus de modelos tridimensionales texturizados de retablos y establecer itinerarios culturales a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en un futuro.

4.1.1.3. *Conclusión*

En este artículo se resalta la importancia de utilizar la Geomática para obtener información precisa sobre bienes patrimoniales protegidos, tanto materiales como inmateriales. Se enfatiza la necesidad de aprovechar los avances tecnológicos en la investigación, conservación y educación patrimonial, mediante la formación de equipos multidisciplinarios. Se menciona que estos datos son valiosos para reevaluar y aumentar la visibilidad de bienes patrimoniales protegidos que no están en museos y llegar a un público más amplio.

Se establece una metodología aplicada para medir y estudiar un retablo complejo, reconociendo la necesidad de utilizar drones u otros métodos para obtener datos completos debido a la riqueza decorativa y la ocultación de elementos. Las aplicaciones geomáticas ayudan a comprender las dimensiones reales y los detalles de los bienes patrimoniales.

Se subraya que lo virtual no reemplaza la experiencia única de ver una obra de arte en persona, pero puede despertar el interés por la visita, especialmente en lugares de culto con horarios limitados. Se destaca la importancia de aprovechar los datos obtenidos a través de la Geomática para avanzar en el conocimiento y la

difusión del patrimonio, involucrando a profesionales de diferentes campos en su análisis y reinterpretación.

4.1.2. ARTÍCULO 2

SCIRES-IT, 8(2), 59-76. <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v8n2p59> (2018)

“Interactive dissemination of the 3D model of a Baroque Altarpiece: A pipeline from digital survey to game engines”

4.1.2.1. *Resumen*

La difusión de modelos basados en la realidad permite un conocimiento más exhaustivo del objeto de estudio y posibilita un mejor acceso a través de aplicaciones en tiempo real que funcionan en dispositivos comunes conectados a la red. Además, las obras de arte difíciles de apreciar pueden convertirse en objeto de juegos educativos serios específicamente diseñados gracias a las posibilidades que permiten los motores de juego. Este artículo se centra en la definición de un proceso que conduzca de la adquisición fiable de características de forma, color y BRDF a una experiencia interactiva motivadora y satisfactoria. Se analizará, desde una perspectiva interdisciplinar, y se realizarán una serie de pasos destinados a preservar las características de la obra de arte sin comprometer su visualización realista y fluida, así como las características que están en la base de la calidad estilística y artística.

4.1.2.2. *Metodología y discusión*

El artículo detalla el proceso meticuloso de crear un modelo tridimensional interactivo de un retablo barroco español del siglo XVIII. Este proceso se dividió en tres fases fundamentales.

Fase 1: Recopilación de Datos: Se utilizó una combinación de tecnologías avanzadas, como escáneres láser y fotogrametría, para recopilar datos detallados. Se prestó especial atención a la complejidad de las formas y a la presencia de áreas de sombra, diseñando una red de cámaras para crear un modelo fotogramétrico de alta resolución que se integrara de manera óptima con el escaneo láser.

Fase 2: Procesamiento de Datos: Una vez recopilados los datos, se llevó a cabo un proceso de post-procesamiento para garantizar la fiabilidad métrica y visual del

modelo. Esto implicó la optimización del modelo 3D mediante técnicas como el diezmado y la retopología, reduciendo el número de triángulos y haciéndolo adecuado para la visualización en tiempo real.

Fase 3: Interacción con el Modelo: Para permitir una experiencia interactiva, se empleó un motor de juego y se diseñó una interfaz que permitiera a los usuarios explorar y manipular el retablo virtual. Se incluyeron animaciones para diferentes elementos del retablo, lo que añadió un nivel adicional de inmersión y participación.

Resultados y Difusión: El modelo tridimensional interactivo final se puso a disposición del público a través de múltiples plataformas, tanto en línea como en una estación multimedia dedicada. Esto permitió a las personas explorar y aprender sobre esta pieza valiosa del patrimonio cultural, incluso cuando el retablo físico no siempre estaba accesible debido a su ubicación en un lugar de culto.

Importancia y Potencial: El texto subraya la importancia de este proyecto en la preservación y difusión del patrimonio cultural. La creación de modelos tridimensionales interactivos proporciona una herramienta poderosa para la comprensión y apreciación de obras de arte históricas. Además, destaca la necesidad de una colaboración interdisciplinaria para llevar a cabo proyectos de este tipo, ya que involucra una cadena de suministro extendida que abarca diversos puntos de vista, disciplinas y tecnologías.

4.1.2.3. *Conclusión*

El proyecto no solo logra crear un modelo digital preciso y detallado del retablo, sino que también demuestra el potencial de la tecnología para ampliar el acceso y la comprensión de nuestro patrimonio cultural, contribuyendo así a su preservación y valoración por parte de la sociedad.

La colaboración interdisciplinaria ha llevado a importantes avances, como la precisión métrica y visual de activos digitales, la interacción fluida con el usuario y la investigación científica de contenidos artísticos y simbólicos relacionados con obras de arte. El flujo operativo busca aprovechar el potencial de visualización que caracteriza a la industria del entretenimiento y a los motores de videojuego, que han avanzado en la configuración material y la iluminación físicamente correcta. La calidad visual en aplicaciones de historia del arte debe acercarse a la de la

industria del entretenimiento, pero también debe ofrecer interacción. Los espectadores actuales, acostumbrados a las nuevas tecnologías, esperan más que una mera contemplación. Por ello, se introduce la posibilidad de interactuar con un modelo, moviendo imágenes y encontrando su posición correcta en el retablo. Aunque las imágenes siguen cierto orden iconográfico, el espectador puede cambiar su ubicación y recibir mensajes que indican si la posición es correcta. Esto brinda una experiencia más dinámica y participativa en la apreciación de obras de arte.

4.1.3. ARTÍCULO 3

Erph_ Revista electrónica De Patrimonio Histórico, (27), 52-83
<https://doi.org/10.30827/e-rph.v0i27.17901>. (2020)

“Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel”

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue.

4.1.3.1. Resumen

En el presente artículo se muestra el caso del Santísimo Cristo de la Sangre, talla escultórica del titular de una de las cofradías más antiguas de España cuya historia, valor artístico y degradación estructural progresiva demandaban una intervención urgente. También del ángel niño que recoge su sangre con un cáliz, permaneciendo aún desaparecidos tres de los cinco ángeles que originalmente le acompañaban. Este artículo pretende ser un ejemplo del potencial de la digitalización 3D mediante fotogrametría para la restauración y recuperación del patrimonio, así como para su salvaguarda. Se trata de un artículo que muestra la ejecución técnica detallada de dicho proceso, el artículo se centra también en la validación del flujo de trabajo desarrollado, la verificación técnica de la calidad de los resultados obtenidos y en las futuras aplicaciones de los modelos 3D resultantes para su propietaria, la Archicofradía de la Preciosísima Sangre de Murcia.

4.1.3.2. *Metodología y discusión*

Primeramente, se describe el flujo de trabajo para la generación de modelos 3D mediante software fotogramétrico que se divide en dos fases: la adecuación del entorno y toma de datos, y el procesado de la información digital. En la primera fase, se realiza un análisis del entorno para adquirir información digital del Cristo de la Sangre, que se encuentra en una capilla oscura y elevada sobre un trono. Se requiere bajar las esculturas al suelo y utilizar sistemas de iluminación que minimicen los brillos y sombras sobre las tallas. En cuanto a la tecnología utilizada, se elige la fotogrametría debido a las condiciones de iluminación y la necesidad de capturar el color y los detalles de la policromía. El proceso se dilata aproximadamente un año debido a limitaciones de tiempo, necesidad de sesiones preliminares y mayor recopilación de información. Se capturan múltiples fotografías de alta calidad desde diferentes ángulos y alturas, utilizando equipos y herramientas especiales. En el caso del Cristo, se toman 1137 fotografías, mientras que para el ángel se toman 71 fotografías. Se emplea una cámara Sony con objetivo de distancia focal fija y se utilizan sistemas de iluminación adecuados.

En la fase de procesado de la información digital, se lleva a cabo varias etapas. Primero, se realiza el enmascaramiento de las imágenes, eliminando el fondo y conservando solo la información relevante para generar el modelo 3D. Luego, se realiza el alineamiento de las imágenes para calcular su posición exacta durante la captación. En esta etapa se pueden introducir marcadores para mejorar la correlación entre imágenes. Después, se obtiene la nube de puntos "dispersa" a partir de las fotografías y marcadores, utilizando software fotogramétrico. Esta nube representa la estructura básica del objeto en 3D. Se realiza un análisis exhaustivo para identificar posibles errores y se depura la calidad de la nube dispersa. A continuación, se genera la nube de puntos "densa" procesando todas las imágenes y marcadores en profundidad. Se definen parámetros como la calidad deseada, la información de color y el nivel de detalle. Por último, se genera la malla, donde se procesan los puntos de la nube densa para formar caras de polígonos y crear una estructura tridimensional. Se pueden ajustar parámetros como el número de caras para controlar la definición de los detalles. Además, se genera la textura que se superpone a la malla para darle color y brillo.

Finalmente, se lleva a cabo la edición y retoque 3D utilizando software especializado. Se revisa la malla en busca de imperfecciones y se realizan correcciones sin comprometer la fidelidad del modelo. Esto puede implicar rellenar huecos, recortar bordes e incluso utilizar herramientas avanzadas para adaptar la malla en áreas problemáticas. De este proceso se extraen algunas consideraciones o pautas, como el empleo de barras de escala. En el ángel no fueron empleadas y se obtuvo un modelo desescalado mientras que para el Cristo si se emplearon y el modelo 3D obtenido se aproximaba bastante a las dimensiones originales.

Este artículo concluye con la verificación de la calidad de los modelos mediante la fabricación de los modelos 3D y su comparación visual y métrica. Los modelos obtenidos fueron exportados en .obj y .stl para imprimirlos a escala en impresión 3D. Se optó por utilizar una impresora de resina de alta resolución, en particular la impresora Objet24 basada en la tecnología Polyjet™ 3D, que logró resoluciones de 28 micras de espesor. Las pruebas con resina de partes de la talla impresas a escala 1:1 permitieron verificar una resolución mínima del modelo de 500 micras. Por ello, los modelos 3D originales fueron reducidos de tamaño, aproximadamente a la décima parte de polígonos, para que fueran compatibles con el software de impresión.

4.1.3.3. *Conclusiones*

En definitiva, el artículo describe la forma correcta para obtener los modelos 3D, en este caso el del Cristo de la Sangre y del ángel que recoge su sangre, en buena resolución utilizando la técnica de la fotogrametría digital. La calidad de los modelos obtenidos ha sido contrastada mediante referencias métricas y medidas con herramientas CAD 3D profesionales, obteniendo resultados muy similares con los originales. Para ello, se menciona la importancia de la calidad de las ópticas y la iluminación en el proceso fotográfico, mediante ópticas fijas, sensores de alta resolución, peanas giratorias y soportes para eliminar sombras y brillos para obtener la mejor calidad en el modelo.

Por otro lado, se resalta la necesidad de utilizar herramientas de edición para optimizar los modelos, y tratar los retoques finales, pero siempre preservando

la fidelidad con el objeto original. Los modelos fueron publicados en una cuenta privada de la plataforma Sketchfab, que permite la visualización en 3D y realidad virtual en diversos dispositivos.

Este proyecto ha ayudado a perfeccionar el flujo de trabajo para la digitalización 3D de tallas de madera policromada mediante fotogrametría. Se ha elaborado una tabla resumen para facilitar la comparación con otras técnicas y recoger la información más importante del proceso de trabajo de esta técnica.

4.1.4. ARTÍCULO 4

Virtual Reality. En fase de revisión 2. Pendiente de publicación.

“Analysis of the user experience (On site vs Virtual Reality) through biological markers and cognitive tests in museums: The case of Museo Cristo de la Sangre (Murcia, Spain)”

Rafael Melendreras Ruiz, Paloma Sánchez Allegue, María Teresa Marín Torres, Manuel Pardo Ríos, José Joaquín Cerón Madrigal, Damián Escribano Tortosa.

4.1.4.1. Resumen

Las tecnologías digitales han cambiado casi todos los aspectos de nuestras vidas, incluido el modo en que accedemos al patrimonio. Tras la pandemia provocada por Covid 19 y la evolución tecnológica de los últimos años, museos e instituciones, entre otros, han cambiado la forma de exponer sus colecciones, interesándose más por las nuevas tecnologías, plataformas y software digital. Este auge tecnológico encuentra su mayor transformación con la implantación de la Realidad Virtual (RV) y el Metaverso en el sector museístico. Este artículo muestra la influencia concreta de la RV/Metaverso en una sala de museo previamente digitalizada mediante diferentes técnicas. A continuación, se ha medido el impacto sobre la experiencia del usuario en el escenario de RV frente a la visita in situ. Paralelamente, se ha llevado a cabo la medición de la enzima alfa-amilasa en saliva, un test cognitivo y un test de usabilidad (SUS) para determinar la capacidad de

aprendizaje y el grado de satisfacción obtenido con la experiencia junto a la sala del Museo de la Sangre de Murcia (España).

4.1.4.2. *Metodología y discusión*

El estudio presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos en tres pruebas realizadas para comparar los efectos de las visitas presenciales a museos y las experiencias de realidad virtual en los participantes. Se centra en el impacto en los niveles de estrés, el rendimiento cognitivo y la usabilidad de la tecnología inmersiva. En primer lugar, el estudio incluyó a 70 participantes, divididos en dos grupos equitativos: uno que experimentó una visita presencial al museo y otro que participó en una experiencia de realidad virtual. No se encontraron diferencias significativas en cuanto al sexo y la edad entre los dos grupos, lo que asegura una comparación adecuada de los resultados.

El análisis de los niveles de estrés se realizó midiendo la concentración de la enzima alfa amilasa salival (AAS) en los participantes antes y después de cada experiencia. Los resultados revelaron que el estrés anticipatorio en el grupo de visita presencial era significativamente mayor en comparación con el grupo de realidad virtual. La familiaridad objetiva con el espacio del museo en la visita presencial puede haber contribuido a este aumento del estrés anticipatorio. Sin embargo, después de la experiencia, el grupo presencial mostró una disminución significativa en los niveles de AAS, lo que sugiere una sensación de relajación y satisfacción con la visita. Por otro lado, el grupo de realidad virtual mostró un aumento moderado en los niveles de AAS, lo que indica una estimulación objetiva atribuible al uso de la tecnología. A pesar de este aumento, los niveles de estrés en el grupo de realidad virtual siguen siendo moderados y no afectaban negativamente a la experiencia.

En términos de rendimiento cognitivo, ambos grupos obtuvieron altas puntuaciones en las pruebas realizadas. El grupo de visita presencial mostró un mejor rendimiento en preguntas relacionadas con la retención de información, mientras que el grupo de realidad virtual tuvo mejores resultados en preguntas con un componente visual, como la identificación del color de las paredes. Esto indica

que ambos enfoques de aprendizaje pueden ser efectivos y complementarios para diferentes tipos de contenido.

En cuanto a la usabilidad, se utilizó el System Usability Scale (SUS) para evaluar la experiencia de realidad virtual. Los resultados muestran que los participantes consideraron la experiencia de realidad virtual como aceptable, con una puntuación que supera el umbral indicado como valor medio. Esto demuestra que la tecnología inmersiva no representa una barrera para una experiencia satisfactoria y que los participantes se adaptaron bien a la misma.

En definitiva, los resultados del estudio resaltan el potencial de las tecnologías inmersivas, como la realidad virtual, para el aprendizaje y la visita a museos. Además, se destaca su contribución a la sostenibilidad al reducir la huella de carbono asociada con las visitas físicas. La realidad virtual también permite una mayor accesibilidad, especialmente para personas con discapacidad móvil. Si bien el uso de la realidad virtual puede generar un aumento moderado en los niveles de estrés, este efecto no parece ser una barrera significativa para una experiencia educativa enriquecedora y satisfactoria. En conjunto, el estudio respalda la adopción de tecnologías inmersivas como una valiosa herramienta para la educación y la difusión del patrimonio cultural.

4.1.4.3. *Conclusiones*

Los resultados expuestos ponen de manifiesto el potencial de las tecnologías inmersivas para el aprendizaje, así como las innumerables ventajas que presentan, como la sostenibilidad, entendida como la reducción de la huella de carbono generada por los museos como consecuencia de la contaminación y el consumo de combustible provocados por las miles de visitas a los museos, la impresión de folletos o la salida de los mismos, visitas a los museos, la impresión de folletos o la salida de colecciones para exposiciones itinerantes.

Por un lado, estas nuevas formas de visualizar el patrimonio pueden frenar el deterioro de las obras de arte como consecuencia de su sobreexposición al público, especialmente las más afectadas por factores ambientales como la

iluminación, la temperatura, etc., o simplemente minimizar el riesgo que supone su exposición a accidentes, vandalismo, etc. Por otro lado, la tecnología de RV democratiza el acceso a estos recursos, proporcionando una accesibilidad prácticamente global, especialmente para las personas con discapacidad y también para personas con bajos recursos, debido a la interconexión de redes y el coste es cada vez más asequible de la tecnología inmersiva (cascos de RV). Además, como recurso educativo, el potencial es insuperable. Todos ellos son factores a tener en cuenta a la hora de apostar por las tecnologías de RX, en función de la calidad de las experiencias de usuario que son capaces de conseguir.

Por último, este estudio ha evaluado el uso de la enzima alfa amilasa salival como marcador de disfrute o aprendizaje utilizando técnicas de virtualización para visualizar el patrimonio y diferentes pruebas: biológicas, cognitivas y de adaptación a través del test SUS. De este modo, se han aplicado nuevos enfoques para la difusión y visualización del patrimonio comparando la reacción de un grupo de visitantes al visualizar el patrimonio a través de la Realidad Virtual frente a la tradicional visita presencial a un museo. En definitiva, este estudio ha demostrado con resultados numéricos y estadísticos la consistencia y validez de las pruebas realizadas y asegura que el uso de gafas de RV no es una barrera o impedimento para el correcto desarrollo de una experiencia de este tipo.

4.2. PUBLICACIONES DENTRO DEL COMPENDIO

4.2.1. ARTÍCULO 5

Journal on Computing Cultural Heritage (15), 1, Article 18, 23 pages.
<https://doi.org/10.1145/3469126> (2022)

*“Comparative analysis between the main 3D scanning techniques:
Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in
religious imagery: The case of the Crist of the Blood”.*

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue

4.2.1.1. *Resumen*

En los últimos años, el escaneado tridimensional (3D) se ha convertido en la principal herramienta para registrar, documentar y conservar el patrimonio cultural a largo plazo. Se ha convertido en el producto más demandado en la actualidad por historiadores, conservadores y restauradores de arte para realizar su trabajo basándose en un "gemelo digital", es decir, un modelo totalmente fiable y preciso del objeto en cuestión. Gracias al escaneado 3D, podemos conservar modelos fiables en formato digital del estado real de nuestro patrimonio, algunos de los cuales se encuentran actualmente destruidos. El primer paso es digitalizar nuestro patrimonio con la mayor calidad y precisión posibles. Para ello, será necesario identificar la técnica más adecuada. En este artículo, mostraremos algunas de las principales técnicas de digitalización utilizadas actualmente en el patrimonio escultórico y los flujos de trabajo asociados a ellas para obtener modelos de alta calidad. Por último, se realizará un completo análisis comparativo para mostrar sus principales ventajas e inconvenientes.

4.2.1.2. *Metodología y discusión*

Dicha investigación define los flujos de trabajo óptimos para diferentes técnicas de escaneo 3D utilizadas en la preservación del patrimonio, sirviendo como guía para la digitalización de objetos patrimoniales concretamente mediante escáner láser y escáner de luz estructurada manual. También se comparan los resultados de fotogrametría del artículo 3 de la presente tesis. Además, se ofrecen argumentos objetivos para respaldar la selección de las técnicas de escaneo 3D específicas basadas en resultados numéricos y gráficos. A su vez, se desarrolla una metodología novedosa para verificar la calidad de los modelos 3D mediante su comparación con el objeto real, considerando la escala y la textura.

El artículo presenta una tabla que compara las tres técnicas de digitalización 3D permitiendo una comparación inicial exhaustiva en las cuestiones técnicas, tiempos, nubes de puntos, mallas, etc. Se verifica la escala de ambos modelos y se demuestra que el escaneo de luz estructurada ofrece una mayor precisión

geométrica y colorimétrica sin necesidad de ajustes posteriores, mientras que la fotogrametría requiere barras de escala para obtener la escala real. Además, se desarrolla una metodología para verificar la calidad del color en las texturas generadas, mostrando que el escaneo de luz estructurada tiene una mayor correlación con el color real.

Finalmente, se identifica al escáner de luz estructurada como la técnica con los mejores resultados en cuanto a calidad geométrica y colorimétrica para la digitalización del patrimonio escultórico y de menor tiempo de captura, mientras que la fotogrametría aunque también es una técnica adecuada los tiempos de captura y procesado son elevados. El escáner láser se descarta como técnica válida de captura para este tipo de patrimonio.

4.2.1.3. *Conclusiones*

Las principales conclusiones de esta investigación conducen a establecer flujos de trabajo precisos para cada una de las técnicas de digitalización estudiadas, teniendo en cuenta la forma y/o el tamaño del objeto, el lugar donde se encuentra y el tiempo para llevar a cabo el trabajo, así como los pasos y recomendaciones a seguir en el proceso de digitalización, basados en nuestra experiencia en el sector. Se ha demostrado a lo largo del artículo que no todas las técnicas de escaneo 3D tienen la misma precisión y exactitud, y depende de la experiencia del usuario o digitalizador elegir qué técnica de escaneo 3D utilizar. Se ha podido mostrar de manera numérica y gráfica que la fotogrametría digital y el escáner de luz estructurada son las técnicas más precisas para la documentación del patrimonio escultórico. La obtención de la técnica de luz estructurada proporciona un mayor detalle geométrico y resolución en los pequeños detalles en comparación con la fotogrametría digital. Podemos asegurar que la técnica de escaneo de luz estructurada obtiene mejores geometrías al obtener una nube de puntos más grande y una mayor adaptabilidad de los triángulos al crear la malla 3D, lo que es mucho más fiable para el objeto original que otras técnicas. Sin embargo, también tiene sus limitaciones, ya que es un escáner de corto alcance, lo que limita el tamaño de los elementos que se pueden escanear, no siendo competitivo con otras técnicas de escaneo como la fotogrametría digital o el escáner láser terrestre en el registro de elementos grandes. En conclusión, afirmamos que la técnica de escaneo de luz

estructurada es la más adecuada y precisa para la digitalización de imágenes religiosas en 3D, gracias a los resultados obtenidos en este artículo. Es importante tener en cuenta que, si se replica el mismo estudio en otros objetos o con el uso de otros dispositivos o escáneres, se pueden obtener resultados diferentes. Una técnica que en este estudio se ha considerado válida para un tipo de patrimonio puede no ser válida para otro y viceversa. Por último, si se realiza nuevamente el estudio, se deben agregar algunas consideraciones, como un verificador de color para el equilibrio de blancos de las imágenes de fotogrametría, y se debe realizar un estudio similar con otro escáner láser terrestre para asegurar o descartar por completo su uso para la replicación de un objeto patrimonial con estas características.

4.2.2. ARTÍCULO 6

"Journal of Cultural Heritage, (54), pp. 59-67, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.001> (2022)

"The sculpture of the Christ of the Blood: Structural mechanical analysis based on 3D models and video techniques for the study of recurrent pathologies".

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue, Jorge Martínez Reyes.

4.2.2.1. *Resumen*

El Cristo de la Sangre es una obra emblemática de la escultura barroca española. Un patrimonio escultórico del siglo XVII, único por su simbolismo y su turbulenta historia. Sufrió graves daños durante la Guerra Civil española y quedó dividido en treinta fragmentos, que fueron recompuestos por importantes escultores locales de la época mediante complejas intervenciones. Como es tradición, después de la guerra, la escultura ha seguido desfilando en procesión todos los años con motivo de la Semana Santa. Los movimientos derivados de este desfile afectan a la integridad de la escultura, aunque de forma particular y crítica en el pie derecho, lo que requiere intervenciones recurrentes desde los años cuarenta hasta la actualidad. Existe un dilema entre tradición y conservación, entre

devoción e integridad. Los estudios y ensayos realizados hasta ahora se limitan a la evaluación del estado de la estructura, los materiales y la aplicación de nuevos tratamientos de conservación, pero no contribuyen decisivamente a prevenir su degradación. La investigación que aquí se presenta pretende desarrollar un estudio estructural dinámico de las fuerzas y tensiones a las que se ve sometida la escultura durante su desfile anual. Para ello, se opta por la simulación informática por elementos finitos, que requiere un modelo tridimensional del que se dispone como resultado de investigaciones previas. Al mismo tiempo, se emplean técnicas avanzadas de video medición para obtener datos de partida para el proceso de simulación, como la aceleración máxima. Finalmente, se aportan posibles soluciones que permitan la reparación, prevención y conservación de este bien patrimonial de incalculable valor, así como una valoración técnica e inversión económica de la aplicación de cada una de ellas.

4.2.2.2. *Metodología y discusión*

Esta investigación profundiza en la propuesta de soluciones integrales para abordar los problemas estructurales detectados en la escultura del Cristo de la Sangre. El estudio comienza presentando las soluciones gráficas que revelan la deformación unitaria equivalente del material. La representación por colores muestra zonas más cálidas que indican áreas de máxima deformación, mientras que las regiones azules revelan una deformación nula.

En el pie izquierdo, se observan zonas críticas en la articulación del tobillo, tanto en el lado externo como en el interno. La tensión máxima en la zona 2 es de 11 MPa, con un factor de seguridad de 9,2. En el pie derecho, se identifica una zona crítica bajo la planta, que coincide con una centralización de tensiones provocada por la introducción de la varilla metálica en la base. En consecuencia, la deformación no se produce directamente en el material de la escultura. A excepción de esta zona, se observan otras dos zonas críticas: una en la parte posterior del pie, sobre el tendón de Aquiles, y otra en la cara anterior del astrágalo. La mayor tensión mecánica se encuentra en la parte anterior del apoyo derecho, con una tensión máxima de 14 MPa y un factor de seguridad de 7,2. Además, debido a las características constructivas, el pie derecho se encuentra en una situación más desfavorable en comparación con el pie izquierdo. La zona del astrágalo, que

coincide con el punto de apertura de la grieta en el pie derecho del Cristo de la Sangre, es el punto donde se abre la grieta inicial y avanza siguiendo la trayectoria de la separación de las piezas internas del pie.

Tras discutir los problemas identificados, el enfoque analítico y los resultados de la simulación, el estudio propone un conjunto de soluciones para preservar la integridad del Cristo de la Sangre. La primera solución propuesta hace hincapié en la concienciación general de todas las personas implicadas en la procesión, desde el presidente de la Archicofradía hasta los fieles participantes, sobre la fragilidad estructural de la escultura. El objetivo es que cualquier actuación sobre la escultura priorice su conservación e integridad. En cuanto al trono, el estudio sugiere reducir su masa para disminuir la fatiga de las personas que lo portan durante la procesión. Otra propuesta consiste en redistribuir la masa para aumentar el momento de inercia y la estabilidad del trono. También se sugiere reducir la altura de la base del trono para disminuir la fuerza de inercia. Se proponen modificaciones en la escultura, como añadir elementos elásticos a la unión escultura-trono para aumentar la amortiguación y reducir los picos de aceleración. Otra propuesta también es, desacoplar la cruz de la escultura se considera beneficioso desde el punto de vista estructural, ya que liberaría a la escultura de soportar el peso de la cruz y se propone añadir un tercer soporte para la cruz, uniéndolo rígidamente a la estructura del trono para reducir la tensión en la unión de la cruz con la escultura de Cristo.

Por otra parte, el estudio propone la posibilidad de reproducir la escultura parcial o totalmente mediante impresión 3D. Reproduciendo la base y ambos pies se crearía una pieza continua en toda la zona de tensión crítica, lo que reduciría potencialmente la probabilidad de agrietamiento. Otra posibilidad sería fabricar una réplica completa de la escultura a partir de un modelo digitalizado de alta resolución. En última instancia, la aplicación de cada solución propuesta depende de su viabilidad técnica y de la posible inversión económica necesaria. El estudio reconoce que ninguna solución garantiza la desaparición completa de los problemas estructurales, pero hace hincapié en su compatibilidad y eficacia potencial para preservar la integridad de la escultura.

4.2.2.3. *Conclusiones*

Las principales conclusiones que hemos obtenido de esta investigación nos llevan a confirmar las sospechas de que la zona de los pies del Cristo de la Sangre está sometida a un estado de tensión y fuerzas demasiado elevadas que provocan, en gran medida, daños recurrentes y constantes en la escultura. Se ha demostrado que, especialmente, el pie derecho está sujeto a una situación de fatiga mecánica que, unida a la alternancia de numerosos ciclos de esfuerzos de tracción y compresión, a los que se ve sometido durante los desfiles de las fiestas religiosas españolas, origina las micro fisuras en el material y compromete la integridad de la pieza interna. Para realizar esta afirmación, tras deducir las ecuaciones matemáticas que lo rigen, se ha analizado mediante un estudio de fuerzas, su centro de masas, eje de giro y momentos de inercia. La técnica principal ha sido la simulación informática por elementos finitos.

Por una parte, se han mostrado gráfica y numéricamente los resultados de las deformaciones unitarias producidas por la escultura, encontrándose la máxima deformación en la zona del tobillo derecho, coincidiendo exactamente con la apertura de la grieta recurrente y siguiendo la trayectoria de separación de las diferentes piezas internas que componen este pie.

Por otra parte, se pone de manifiesto la importancia del uso de las nuevas tecnologías, la digitalización 3D y técnicas como la video medición para la realización de estudios y análisis que permitan resolver problemas de integridad, prevención y conservación del patrimonio a partir del desfile, ya que, sin estas herramientas, el estudio realizado no hubiera sido posible.

Finalmente, en base a los resultados y a la calidad de los modelos 3D disponibles, se han propuesto un conjunto de posibles soluciones para resolver los problemas estructurales detectados, que permitan que la tradición siga afectando lo menos posible a la integridad del patrimonio. A pesar de que cada una de ellas debe ser estudiada en profundidad, se ha realizado un rápido y conciso análisis preliminar de su desarrollo en función de su complejidad técnica, inversión económica y grado de intervención en la escultura. La incorporación de un tercer

soporte de la cruz, la redistribución de masas en el trono y la inclusión de elementos elásticos en las juntas del basamento, se han encontrado por este orden como las soluciones más factibles de llevar a cabo sin modificar la escultura en su conjunto.

4.2.3. ARTÍCULO 7

Curator: The Museum Journal. Volumen 65. Issue 2, pp. 305-331,
<https://doi.org/10.1111/cura.12469>

“Development of a Touchable Replica for Inclusive Experiences of Religious Artifacts.”

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue

4.2.3.1. *Resumen*

El objetivo principal de este artículo es introducir una primera experiencia inclusiva en un museo convencional que hasta ahora sólo expone esculturas religiosas y su evaluación por parte de personas ciegas y deficientes visuales. Por este motivo, se decidió desarrollar una experiencia multisensorial dirigida a personas ciegas y deficientes visuales, aprovechando el potencial de las nuevas tecnologías de escaneado e impresión 3D. La experiencia se centra en una réplica táctil del busto del Cristo de la Sangre, obra maestra del barroco muy venerada en Murcia. Se muestra el proceso completo de elaboración de la réplica, desde el diseño hasta la fabricación, combinando tecnología y tradición. Además del sentido del tacto, la experiencia incorpora detalladas descripciones sonoras y olfativas, para proporcionar una valiosa información extra. También se utilizan tecnologías móviles de radio, como balizas, para guiar a los visitantes. Las personas ciegas y deficientes visuales desempeñan un papel activo en este proyecto, tanto en el diseño como en la validación de las experiencias.

4.2.3.2. *Metodología y discusión*

El proyecto pretende abordar la falta de accesibilidad para personas ciegas y con discapacidad visual en el contexto museístico. Tradicionalmente, las

exposiciones se han centrado en experiencias visuales, desatendiendo las necesidades de este público específico. La réplica de la escultura del Cristo de la Sangre brinda la oportunidad de ofrecer una experiencia integradora, abriendo el museo a un público más amplio. El proceso de creación de la réplica táctil implicó un enfoque multidisciplinar, con la participación de expertos en transformación digital, arquitectura, escultura y arte. Desde el principio se contó con la participación de personas con discapacidad visual para garantizar la integración de sus puntos de vista en el proyecto.

Fase 1: Antecedentes: La fase inicial consistió en la digitalización en 3D de la escultura del Cristo de la Sangre mediante diversas técnicas, como la fotogrametría, el escaneado láser y el escaneado de luz estructurada. La combinación de datos de diferentes escáneres proporcionó los mejores resultados en términos de precisión y calidad. El objetivo de la réplica era permitir a los invidentes y a los discapacitados visuales explorar la escultura y conocer su significado histórico y cultural.

Fase 2: Fabricación de la réplica: Para crear la réplica se utilizó tecnología de impresión 3D de alta resolución (SLA). Se empleó la impresora Photocentric Hi-RES con resina Photocentric FIRM para conseguir detalles finos y durabilidad. El proceso de impresión consistió en dividir el busto en varias secciones para que cupieran en el volumen de la impresora, que posteriormente se ensamblaron. Además, la réplica se policromó para reproducir los colores y detalles de la escultura original.

Fase 3: Experiencia multisensorial: La tercera fase se centró en crear una experiencia multisensorial para atraer a los visitantes ciegos y deficientes visuales. El uso de la tecnología Beeacons guio a los visitantes hasta la réplica, y el contenido multimedia con narración sonora, música y sonidos ambientales proporcionó contexto e información sobre la escultura. Se introdujeron elementos olfativos como aromas de cera e incienso para mejorar la experiencia.

Fase 4: Pruebas y participantes: La fase final consistió en probar la experiencia con dos grupos: expertos en arte y personas ciegas o con discapacidad visual. Ambos grupos aportaron valiosos comentarios, las personas ciegas y con deficiencias visuales agradecieron el enfoque integrador y la accesibilidad de la exposición.

Los datos estadísticos obtenidos del estudio muestran una recopilación de la evaluación de los usuarios de la experiencia táctil, olfativa y auditiva. Debido al pequeño tamaño muestral de los participantes del estudio y con la intención de proporcionar una estimación fiable que pueda extenderse a toda la población, se decide analizar los resultados utilizando la distribución t de Student con un intervalo de confianza del 95%. Los gráficos finales del artículo muestran que los ciegos y los deficientes visuales han sido más críticos en la evaluación de la totalidad de las experiencias. Mientras tanto, el grupo de expertos en arte evaluaron las experiencias de manera positiva y uniforme.

A su vez, la experiencia olfativa es la que genera la mayor discrepancia por parte de los ciegos y discapacitados visuales, mostrando el intervalo de confianza más amplio y la evaluación media más baja. Por otro lado, la experiencia auditiva también muestra una alta valoración por parte de ambos grupos, aunque sin llegar a las obtenidas en la experiencia táctil. Igualmente, la experiencia táctil revela los intervalos de confianza más bajos, posiblemente influenciados por las calificaciones que son dadas a la robustez y las adiciones elaboradas de la réplica.

En cuanto a los resultados obtenidos en la sección 3 de la encuesta, diseñada con preguntas abiertas, nos han permitido recoger valioso feedback sobre la experiencia, orientado tanto a su optimización como al desarrollo de futuras experiencias en el entorno museístico.

4.2.3.3. *Conclusiones*

Este artículo trata de la primera experiencia multisensorial inclusiva dirigida a personas ciegas y discapacitados visuales que se ha desarrollado con éxito en un museo tradicional de Semana Santa, aprovechando el potencial de las nuevas tecnologías de escaneo e impresión 3D. El innovador proceso de fabricación de la réplica basada en la impresión 3D proporciona importantes conocimientos y habilidades "en escultura" al perfeccionar la técnica de policromía sobre resina.

Las herramientas digitales mejoran el aprendizaje y acercan el patrimonio a quienes de otro modo no tendrían acceso a él. Además, permiten personalizar el diseño de la experiencia de usuario y el contenido. En este sentido, las aplicaciones móviles accesibles y los contenidos multimedia son herramientas muy potentes para guiar a las personas ciegas y discapacitados visuales a lo que van a experimentar.

En cuanto a la validación, hubiera sido deseable una mayor muestra de personas en el proceso de validación, pero debido a los protocolos sanitarios (COVID-19) fue imposible convocar a un mayor número, dando prioridad a su perfil y representatividad. El grupo de personas ciegas y discapacitados visuales evalúa más rigurosamente la experiencia sensorial que los expertos en arte. Valoran muy positivamente la calidad táctil de la réplica fabricada, tanto por su definición y materiales, como por integrar diferentes texturas (pelo, rostro y corona). Por otro lado, los expertos en arte valoran mucho la posibilidad de tocar la réplica porque además de aportarles una experiencia inédita les proporciona un mayor conocimiento de la obra y sus detalles. La introducción de aromas (incienso y cera) también es muy valorada por el grupo de invidentes. Por otro lado, el grupo de expertos en arte y educación acredita tanto el rigor de la ejecución técnica de la réplica como su validez para el público en general.

El trabajo conjunto con organizaciones de ciegos ha sido decisivo a lo largo del proyecto, tanto para diseñar la experiencia y validarla como para recibir feedback para mejorarla en el futuro. Entre las consideraciones a tener en cuenta para futuros proyectos, destacamos la conexión de ésta y futuras experiencias con el museo, la implementación de las mejoras sugeridas por la mayoría de los voluntarios ciegos y discapacitados visuales y la introducción de nuevas tecnologías inclusivas, como el sistema de guiado Navilens.

En definitiva, las experiencias táctiles son mejor valoradas por los visitantes ciegos y con baja visión, pero benefician a todos los visitantes si están disponibles, porque el aprendizaje táctil también es valorado por cualquier persona que tenga la capacidad de sentir a través del tacto.

V – CONCLUSIONES

V - CONCLUSIONES

La tesis doctoral concluye con una destacada apreciación de la digitalización 3D como un motor de cambio verdaderamente transformador en la preservación y difusión del Patrimonio Cultural.

A lo largo de esta investigación exhaustiva, se ha puesto de manifiesto el **potencial** asombroso de la **Digitalización 3D** a través de una serie de casos de estudio, ilustrando su aplicación tanto en la preservación de objetos patrimoniales como en la mejora de la accesibilidad, la participación del público en el ámbito museístico y la aplicación de las tecnologías emergentes.

Para ello, se describen minuciosamente **los flujos de trabajo** que integran las técnicas de la fotogrametría computerizada, el escáner láser y el escáner de luz estructurada para evidenciar el proceso completo de digitalizar y obtener resultados de alta calidad geométrica y fiabilidad en la digitalización 3D del patrimonio escultórico religioso de madera policromada. Estos procesos y técnicas detalladamente descritos no sólo permiten replicar este proceso en un patrimonio similar, sino que también han sentado las bases para una preservación de largo plazo de estos elementos culturales, como se muestra en el artículo 5.

La optimización de los procesos involucrados en estos flujos de trabajo es esencial para garantizar la **verificación técnica**, la calidad de los modelos digitales generados y la eficiencia de los recursos. Por este motivo, se han realizado verificaciones con medidas digitales y tradicionales obteniendo resultados con diferencias de escasos milímetros mostrando como la optimización de los flujos de trabajo mejora la calidad geométrica de pequeño detalle y la similitud del color queda evidenciada en los resultados obtenidos en el artículo 5.

Por otro lado, la aplicación de tecnologías emergentes como la impresión 3D, la realidad virtual y las aplicaciones móviles ha abierto un abanico de posibilidades impresionantes para la **preservación, divulgación y accesibilidad** al patrimonio

cultural. La impresión 3D, en particular, ha transformado nuestra capacidad de replicar y preservar objetos culturales de manera precisa, lo que no solo facilita la conservación física, sino que también proporciona oportunidades educativas y de estudio sin precedentes. Además, la creación de réplicas táctiles mediante impresión 3D y la implementación de aplicaciones multisensoriales para personas con discapacidades visuales representa un paso importante hacia la inclusión y accesibilidad en la apreciación del patrimonio cultural. Con esta investigación, se ha podido realizar y mostrar el proceso de la creación de una réplica táctil mediante impresión 3D y una aplicación multisensorial para personas con discapacidades visuales, lo que promueve la inclusión y la accesibilidad. De igual manera, la realidad virtual ofrece una experiencia inmersiva que transporta a los visitantes a entornos culturales de manera virtual. Esto permite una exploración detallada de lugares que de otro modo serían inaccesibles, enriqueciendo la comprensión de la historia y la cultura. En esta tesis se ha realizado el entorno inmersivo de una sala del Museo de la Sangre y se ha comprobado el empleo de esta tecnología como medio para disfrute del Patrimonio. Asimismo, las aplicaciones móviles han proporcionado una plataforma accesible para acceder a información detallada sobre el patrimonio cultural, enriqueciendo la experiencia de los visitantes a sitios históricos y culturales. Estas aplicaciones pueden ofrecer guías interactivas, información enriquecedora, contenido multimedia y experiencias de realidad aumentada, entre otras, como los audios, descripciones y tecnología Beacon empleada en el artículo 7.

En el panorama post Covid-19, la adaptación de estos avances tecnológicos se manifiesta como una respuesta crucial y altamente pertinente para garantizar la continuidad de la accesibilidad a los museos y su patrimonio. En este contexto, se abre paso a la posibilidad de ofrecer experiencias virtuales sumamente enriquecedoras que permiten a un público más amplio y diverso conectar de manera significativa con la riqueza cultural y artística que albergan estos espacios. De este modo, se establece un puente entre la tradición y la modernidad, y se fomenta una mayor apreciación y comprensión de la historia y la cultura, al tiempo que se promueve la inclusión y la participación de una audiencia global y diversa. La tesis ha colaborado en la creación de estos nuevos escenarios mediante el desarrollo del Metaverso del Museo de la Sangre como se muestra en el artículo 4,

con la metodología del proceso de elaboración del entorno y la experiencia en Realidad Virtual. Esta nueva forma de acceso al Museo **colabora** a aumentar la conexión de los museos con la sociedad **en escenarios post Covid-19** o desde cualquier parte del mundo.

El estudio exhaustivo realizado en esta tesis y la evolución constante de las **tecnologías emergentes** en el ámbito de la digitalización 3D se revelan como la piedra angular para mantener una posición líder en la **preservación del patrimonio** cultural y garantizar su salvaguardia a lo largo del tiempo. Esta investigación no sólo constituye un acto de responsabilidad hacia las futuras generaciones, sino que también desempeña un papel esencial en la promoción del entendimiento y apreciación de nuestra herencia cultural. Además, al estar a la vanguardia de estas tecnologías, se potencia la capacidad de los profesionales y expertos en el campo para enfrentar los desafíos y amenazas que puedan surgir en el proceso de conservación, asegurando así que las piezas y espacios culturales continúen siendo accesibles y relevantes en el mundo contemporáneo. En este sentido, el compromiso con la investigación y la innovación en digitalización 3D no sólo enriquece el campo de la preservación del patrimonio, sino que también contribuye de manera significativa a la promoción de una apreciación más profunda y generalizada de nuestra historia y cultura colectiva. Este empeño continuado en la vanguardia tecnológica representa una inversión valiosa en el legado cultural de la humanidad y, por ende, en la comprensión y respeto mutuo entre sociedades diversas y globales.

La **digitalización 3D** facilita la documentación precisa de objetos culturales y provee herramientas valiosas para la detección de daños y la planificación de intervenciones en su **conservación y restauración**. Como se ha descrito en el artículo 6 mostrando la explicación más plausible de los repetitivos daños que aparecen en el Cristo de la Sangre. Estos modelos 3D permiten estudios más profundos y simulacros más reales de los daños o a su vez, de posibles intervenciones.

La **realidad virtual** se erige como una plataforma de interpretación y exposición de objetos pertenecientes al patrimonio cultural de una eficacia notable. Su capacidad para proporcionar experiencias inmersivas representa un hito significativo en la forma en que interactuamos y nos relacionamos con las reliquias culturales. Esta tecnología va más allá de una mera exhibición, permitiendo a los espectadores sumergirse de manera activa y participativa en los contextos históricos y culturales que rodean a estos objetos. Al hacerlo, la realidad virtual no solo brinda una nueva perspectiva sobre los artefactos y su significado, sino que también nutre de manera profunda la comprensión y el aprecio por la historia y la cultura que representan. Esta herramienta no solo democratiza el acceso a la herencia cultural, sino que también ofrece un nivel de interacción y aprendizaje que trasciende las limitaciones de las exposiciones físicas tradicionales. Permite a los visitantes explorar lugares y contextos que, de otro modo, serían inaccesibles o difíciles de interpretar. Asimismo, fomenta una **mayor participación y apreciación** por parte de audiencias diversas, incluyendo a aquellos que puedan tener limitaciones físicas o dificultades para acceder a los lugares físicos de exhibición.

La **colaboración con instituciones locales** en la preservación y digitalización de su patrimonio cultural es esencial para fortalecer el tejido cultural de una comunidad, promoviendo la adquisición y difusión del patrimonio digital de manera sostenible y enriquecedora. Este enfoque no sólo implica una responsabilidad compartida hacia la herencia cultural, sino que también representa una inversión tangible en el tejido social y en la identidad colectiva. Al unir fuerzas con estas instituciones, se establece un lazo virtuoso que fomenta la adquisición, conservación y difusión del patrimonio digital de manera sostenible y profundamente enriquecedora. Esta colaboración va más allá de la mera conservación de objetos y documentos; se traduce en un acto de empoderamiento comunitario, alentando a los miembros locales a participar activamente en la preservación y divulgación de su propia historia y legado cultural. En este sentido, no sólo se preservan los elementos tangibles del patrimonio, sino que también se promueve una comprensión más rica y matizada de las narrativas culturales que dan forma a la identidad de la comunidad. Además, esta colaboración propicia un ambiente de aprendizaje y enriquecimiento mutuo entre las instituciones y la comunidad local. Se establece un diálogo constante que permite adaptar las

estrategias de digitalización y preservación a las necesidades y particularidades de la comunidad, asegurando así una preservación más efectiva y significativa. Asimismo, al fomentar la participación activa de la comunidad en este proceso, se promueve un sentido de pertenencia y orgullo en relación a su herencia cultural, lo que fortalece la cohesión y el sentido de comunidad. En este respecto, la presente tesis ha fomentado la colaboración y la sinergia de trabajo entre empresas, instituciones, cofradías y universidades estableciendo nuevos lazos y estrategias de acción.

Por último, la **promoción de casos de éxito** en el campo del Patrimonio Cultural Digital ha contribuido a inspirar y motivar a otros profesionales e instituciones a adoptar estas tecnologías y métodos, fortaleciendo así la preservación y divulgación del patrimonio cultural a nivel global, mostrado como la digitalización 3D se revela como una herramienta poderosa y prometedora para la conservación, restauración y recuperación del patrimonio cultural, permitiendo una representación precisa y detallada de objetos.

En definitiva, la tesis subraya la importancia de la colaboración entre diversas disciplinas, como la ingeniería, la informática, la historia del arte o la conservación del patrimonio, para avanzar en el desarrollo y la aplicación de las técnicas de digitalización 3D. Asimismo, destaca la relevancia de la comunicación efectiva entre empresas, asociaciones u organizaciones y universidades, ya que, este intercambio de conocimientos y recursos ha sido clave para potenciar la innovación y lograr avances significativos en la preservación y divulgación del patrimonio, asegurando así su legado para las futuras generaciones.

VI - LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

VI -LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las investigaciones futuras en el campo de la digitalización 3D se perfilan como una continuación esencial de los avances logrados en la presente tesis. A pesar de los progresos significativos, persisten desafíos notables en la optimización de estas técnicas, especialmente en entornos donde la madera policromada presenta superficies complejas y detalles minuciosos. Por tanto, un área de interés podría enfocarse en perfeccionar aún más la precisión y resolución específicamente en estos contextos.

Asimismo, la importancia de la colaboración entre expertos en tecnología digital y conservadores de patrimonio cultural ha sido resaltada en esta investigación. Las futuras líneas de estudio podrían concentrarse en la integración de técnicas complementarias y la aplicación de métodos de conservación avanzados en sinergia con la digitalización 3D. Esta convergencia de conocimientos y enfoques puede potenciar aún más la preservación y documentación de nuestro legado cultural.

No obstante, la preservación y difusión del patrimonio cultural plantea cuestiones éticas y de responsabilidad que merecen una atención especial. Específicamente, en lo que respecta a la reproducción y distribución de réplicas digitales, como se sugiere en uno de los artículos de esta tesis, y la custodia de los modelos digitales. Establecer estrategias claras, para el resguardo de estos modelos y sus aspectos legales, son fundamentales, por lo que, es necesario explorar las mejores prácticas para la gestión y propiedad de los modelos digitales generados, así como abordar las implicaciones legislativas relacionadas con su uso. Por ello, se propone que futuras investigaciones aborden estas cuestiones desde una perspectiva ética y legal, asegurando que la custodia y difusión de réplicas digitales se lleve a cabo de manera moral y respetuosa.

Por otro lado, es esencial continuar investigando soluciones para superar las limitaciones de resolución (cantidad de polígonos) en plataformas de Realidad Virtual y especialmente en entornos web, para permitir la carga de modelos más complejos y detallados investigando nuevas formas de retopología, diezmado de polígonos o importación optimizada de los modelos.

Igualmente, se debería estudiar que, la creación de programas de formación en diferentes niveles educativos desde la educación primaria y secundaria hasta la universidad, podría originar un mayor acceso a las investigaciones promoviendo una mayor inversión y demandas digitales en el ámbito educativo.

Indistintamente, la Realidad Aumentada (RA) se presenta como un campo de estudio y aplicación de gran potencial, aunque no ha sido directamente abordado en la presente tesis. Esta tecnología ofrece una perspectiva innovadora en la forma en que interactuamos con el mundo físico y digital de manera simultánea. A través de la superposición de elementos virtuales sobre el entorno real, la RA tiene la capacidad de enriquecer significativamente la experiencia de los usuarios al proporcionar información adicional, contextos interactivos y visualizaciones dinámicas. En el contexto de la preservación del patrimonio cultural, la RA puede jugar un papel crucial al permitir a los visitantes interactuar de manera más inmersiva con los objetos y espacios históricos. Asimismo, la RA puede facilitar la reconstrucción virtual de elementos perdidos o dañados del patrimonio, permitiendo a los expertos y conservadores visualizar y evaluar posibles intervenciones de restauración antes de llevarlas a cabo en el entorno real. Esta capacidad de simulación precisa puede ser muy valorable en la toma de decisiones informadas y la planificación estratégica para la conservación a largo plazo de objetos y espacios culturales.

De igual manera, la aplicación de la tecnología 3D para la reconstrucción de objetos culturales totalmente destruidos abre una nueva línea de investigación con el potencial de recuperar y preservar elementos valiosos de nuestro patrimonio.

VII - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VII - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bellido Gant M.L., Ruiz Torres D., (2013). Los museos de los nuevos medios. Virtualidad e interacción como nuevos paradigmas del conocimiento y difusión. *ArTecnología: arte, tecnología e lenguagens midiáticas*, 4. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/36613>

Dewi, C., Rofo, M., Nichols, J., et al. (2023). Heritage and the COVID-19 pandemic: the meaning of visitation. *Built Heritage*, 7, 11. <https://doi.org/10.1186/s43238-023-00095-z>

Fang, F., Tambe, M., Dilkina, B., & Plumptre, A. (Eds.). (2019). *Artificial Intelligence and Conservation (Artificial Intelligence for Social Good)*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108587792.014>

Jin, P., & Liu, Y. (2022). Fluid space: Digitisation of cultural heritage and its media dissemination. *Telematics and Informatics Reports*, 8, 100022. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2022.100022>

Kantaros, A., Ganetsos, T., & Petrescu, F. I. T. (2023). Three-Dimensional Printing and 3D Scanning: Emerging Technologies Exhibiting High Potential in the Field of Cultural Heritage. *Applied Sciences*, 13(8), 4777. <https://doi.org/10.3390/app13084777>

Kęsik, J., Żyła, K., Montusiewicz, J., Miłosz, M., Neamtu, C., & Juszczyk, M. (2023). A Methodical Approach to 3D Scanning of Heritage Objects Being under Continuous Display. *Applied Sciences*, 13(1), 441. <https://doi.org/10.3390/app13010441>

Li, Y., Du, Y., Yang, M., et al. (2023). A review of the tools and techniques used in the digital preservation of architectural heritage within disaster cycles. *Heritage Science*, 11(1), 199. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01035-x>

Loaiza Carvajal, D. A., Morita, M. M., & Bilmes, G. M. (2020). Virtual museums. Captured reality and 3D modeling. *Journal of Cultural Heritage*, 45, 234-239. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.04.013>

Means, B. K. (2017). 3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage. *Historical Archaeology*, 51(3), 582-583. <https://doi.org/10.1007/s41636-017-0055-x>

Milosz, M., Kesik, J., & Montusiewicz, J. (2020). 3D scanning and visualization of large monuments of Timurid architecture in Central Asia—a methodical approach. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 14(1), 1-31. <https://doi.org/10.1145/3425796>

Nightingale, R. C., Ross, M. T., Cruz, R. L. J., Allenby, M. C., Powell, S. K., & Woodruff, M. A. (2021). Frugal 3D scanning using smartphones provides an accessible framework for capturing the external ear. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 74(11), 3066-3072. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2021.03.131>

Piccialli, F., Chianese, A. (2017). Cultural heritage and new technologies: trends and challenges. *Personal and Ubiquitous Computing*, 21(2), 187-189. <https://doi.org/10.1007/s00779-016-0984-y>

Santana Quintero, M., Awad, R., & Barazzetti, L. (2020). Harnessing digital workflows for the understanding, promotion and participation in the conservation of heritage sites by meeting both ethical and technical challenges. *Built Heritage*, 4(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s43238-020-00005-7>

Sargentis, G.-F., Frangedaki, E., Chiotinis, M., Koutsoyiannis, D., Camarinopoulos, S., Camarinopoulos, A., & Lagaros, N. D. (2022). 3. <https://doi.org/10.3390/technologies10010009>

Selmanović, E., Rizvic, S., Harvey, C., Boskovic, D., Hulusic, V., Chahin, M., & Slijivo, S. (2020). Improving accessibility to intangible cultural heritage preservation using virtual reality. *Journal of Computing and Cultural Heritage*, 13(2), 13. <https://doi.org/10.1145/3377143>

Skublewska-Paszkowska, M., Milosz, M., Powroznik, P., et al. (2022). 3D technologies for intangible cultural heritage preservation—literature review for selected databases. *Heritage Science*, 10(3). <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00633-x>

Tong, Y., Cai, Y., Nevin, A., et al. (2023). Digital technology virtual restoration of the colours and textures of polychrome Bodhidharma statue from the Lingyan Temple, Shandong, China. *Heritage Science*, 11(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00858-y>

VIII – ANEXOS

VIII - ANEXOS

ANEXO 1. CALIDAD DE LAS PUBLICACIONES

COMPENDIO DE ARTICULOS

Esta tesis es un compendio de tres artículos. A continuación, se citan las referencias completas de dichas publicaciones.

ARTÍCULO 5

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue. (2022) *“Comparative analysis between the main 3D scanning techniques: Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in religious imagery: The case of the Crist of the Blood”*. J. Comput. Cult. Herit. (15), 1, Article 18, 23 pages. <https://doi.org/10.1145/3469126>

FECHA DE PUBLICACIÓN: DICIEMBRE 2021.

REVISTA: JOURNAL ON COMPUTING AND CULTURAL HERITAGE.

INDEX: JCR

ISSN: 1556-4673.

JOURNAL CITATION INDICATOR (JCI): 2.88

TOTAL CITATIONS JOURNAL: 765

RANKING: Q1.

CATEGORY:

- COMPUTER SCIENCE, INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS: Q1
- HUMANITIES, MULTIDISCIPLINARY: Q1

ARTÍCULO 6

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue, Jorge Martínez Reyes. (2022) *“The sculpture of the Christ of the Blood: Structural mechanical analysis based on 3D models and video techniques for the study of recurrent pathologies”*. Journal of Cultural Heritage, (54), pp. 59-67, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.001>.

FECHA DE PUBLICACIÓN: ENERO 2022.

REVISTA: JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE.

INDEX: JCR

ISSN: 1296-2074.

JOURNAL CITATION INDICATOR (JCI): 2.13

TOTAL CITATIONS JOURNAL: 5.595

RANKING: Q1.

CATEGORY:

- ART: Q1
- GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY: Q1
- MATERIAL SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY: Q1

ARTÍCULO 7

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, Paloma Sánchez Allegue. (2022) *“Development of a Touchable Replica for Inclusive Experiences of Religious Artifacts.”*. Curator: The Museum Journal. V. 65. Issue 2, pp. 305-331, <https://doi.org/10.1111/cura.12469>

FECHA DE PUBLICACIÓN: ABRIL 2022.

REVISTA: CURATOR: THE MUSUEM JOURNAL

INDEX: JCR.

ISSN: 2151-6952.

JOURNAL CITATION INDICATOR (JCI): 2.28

TOTAL CITATIONS JOURNAL: 736

RANKING: Q1.

CATEGORY: HUMANITIES, MULTIDISCIPLINARY: Q1

2022 Journal Performance Data for: ACM Journal on Computing and Cultural Heritage

ISSN

1556-4673

EISSN

1556-4711

JCR ABBREVIATION

ACM J COMPUT CULT HE

ISO ABBREVIATION

ACM J. Comput. Cult. Herit.

Journal Information

EDITION

Arts & Humanities Citation
Index (AHCI)
Science Citation Index
Expanded (SCIE)

CATEGORY

COMPUTER SCIENCE,
INTERDISCIPLINARY
APPLICATIONS - SCIE
HUMANITIES,
MULTIDISCIPLINARY - AHCI

LANGUAGES

English

REGION

USA

1ST ELECTRONIC JCR YEAR

2016

Publisher Information

PUBLISHER

ASSOC COMPUTING
MACHINERY

ADDRESS

1601 Broadway, 10th Floor,
NEW YORK, NY 10019-7434

PUBLICATION FREQUENCY

4 issues/year

Journal's Performance

Journal Impact Factor

The Journal Impact Factor (JIF) is a journal-level metric calculated from data indexed in the Web of Science Core Collection. It should be used with careful attention to the many factors that influence citation rates, such as the volume of publication and citations characteristics of the subject area and type of journal. The Journal Impact Factor can complement expert opinion and informed peer review. In the case of academic evaluation for tenure, it is inappropriate to use a journal-level metric as a proxy measure for individual researchers, institutions, or articles. [Learn more](#)

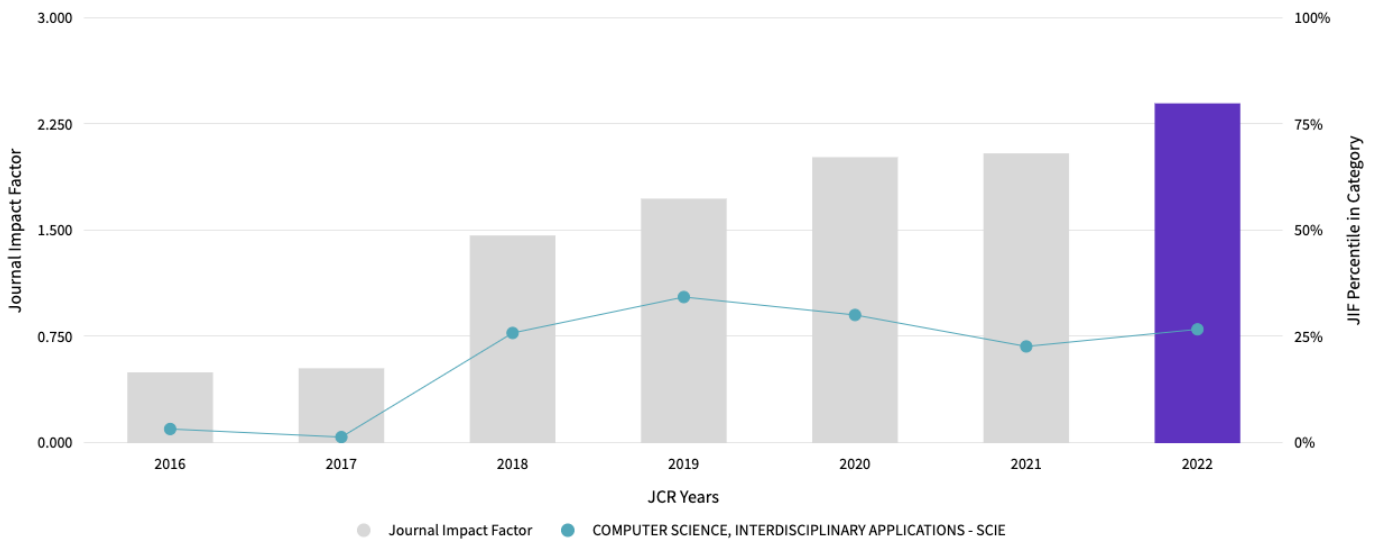
2022 JOURNAL IMPACT FACTOR

2.4

2022 JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

2.2

Journal Impact Factor Trend 2022



Journal Impact Factor is calculated using the following metrics

$$\frac{\text{Citations in 2022 to items published in 2020 (123) - 2021 (93)}}{\text{Number of citable items in 2020 (35) + 2021 (56)}} = \frac{216}{91} = 2.4$$

Journal Impact Factor without self cites is calculated using the following metrics

$$\frac{\text{Citations in 2022 to items published in 2020 (123) + 2021 (93) - Self Citations in 2022 to items published in 2020 (7) + 2021 (7)}}{\text{Number of citable items in 2020 (35) + 2021 (56)}} = \frac{216 - 14}{91} = 2.2$$

Journal Impact Factor Contributing Items

Citable Items (91)

| TITLE | CITATION COUNT |
|---|----------------|
| Improving Accessibility to Intangible Cultural Heritage Preservation Using Virtual Reality Authors: Selmanovic, Elmedin;Rizvic, Selma;Harvey, Carlo;Boskovic, Dusanka;Hulusic, Vedad;Chahin, Malek;Sljivo, Sanda Volume: 13 Accession number: WOS:000571471800006 Document Type: Article | 14 |
| Adding Culture to UX: UX Research Methodologies and Applications in Cultural Heritage Authors: Konstantakis, Markos;Caridakis, George Volume: 13 Accession number: WOS:000582598600004 Document Type: Article | 11 |
| Detection of Disaster-Affected Cultural Heritage Sites from Social Media Images Using Deep Learning Techniques Authors: Kumar, Pakhee;Ofli, Ferda;Imran, Muhammad;Castillo, Carlos Volume: 13 Accession number: WOS:000580365700008 Document Type: Article | 10 |
| Ambient Information Visualisation and Visitors' Technology Acceptance of Mixed Reality in Museums Authors: Hammady, Ramy;Ma, Minhua;Strathearn, Carl Volume: 13 Accession number: WOS:000571471800002 Document Type: Article | 9 |
| Augmented Reality Applications to Support the Promotion of Cultural Heritage: The Case of the Basilica of Saint Catherine of Alexandria in Galatina Authors: Cisternino, Doriana;Corchia, Laura;De Luca, Valerio;Gatto, Carola;Liaci, Silvia;Scrivano, Liliana;Trono, Anna;De Paolis, Lucio Tommaso Volume: 14 Accession number: WOS:000703432200006 Document Type: Article | 7 |

Showing 1-5 rows of 91 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Impact Factor Contributing Items

Citing Sources (118)

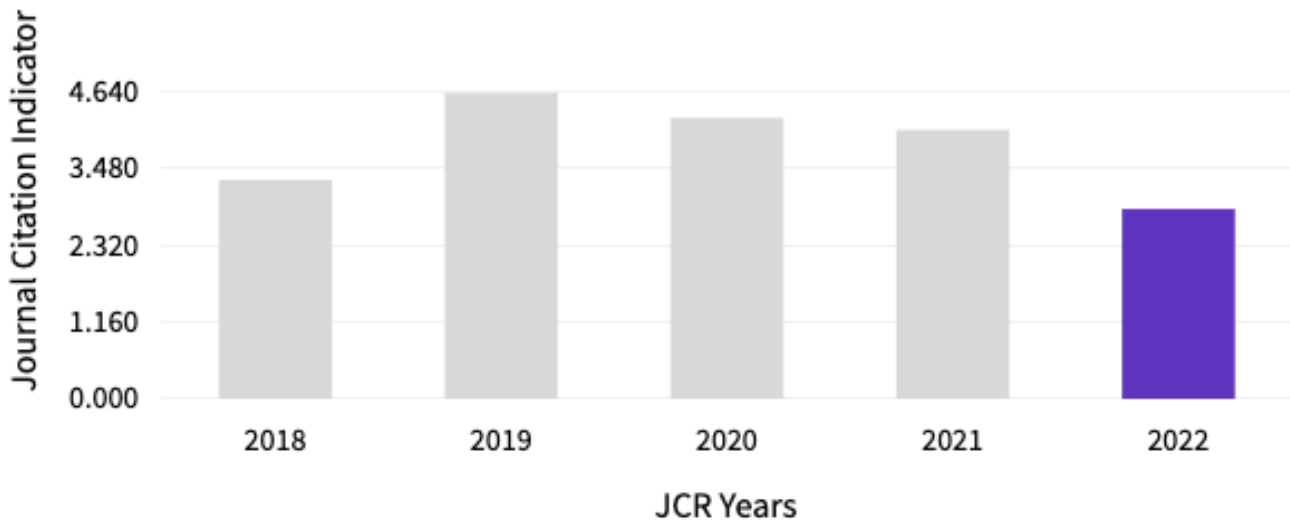
| SOURCE NAME | COUNT |
|--|-------|
| APPLIED SCIENCES-BASEL | 20 |
| ACM JOURNAL ON COMPUTING AND CULTURAL HERITAGE | 14 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION | 12 |
| HERITAGE SCIENCE | 8 |
| HERITAGE | 7 |
| COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND NEUROSCIENCE | 5 |
| INTERACTIVE STORYTELLING, ICIDS 2022 | 5 |
| SUSTAINABILITY | 4 |
| AUTOMATION IN CONSTRUCTION | 3 |
| BUILDINGS | 3 |
| EXTENDED REALITY, XR SALENTO 2022, PT II | 3 |
| INFORMATION | 3 |
| JOURNAL OF IMAGING | 3 |
| MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS | 3 |
| SCIENTIFIC REPORTS | 3 |
| SENSORS | 3 |
| 2022 IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY AND 3D USER INTERFACES ABSTRACTS AND WORKSHOPS (VRW 2022) | 2 |
| 2022 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY (ISMAR 2022) | 2 |
| COATINGS | 2 |
| COMPUTERS & GRAPHICS-UK | 2 |

Showing 1-20 rows of 118 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Citation Indicator (JCI)

2.88

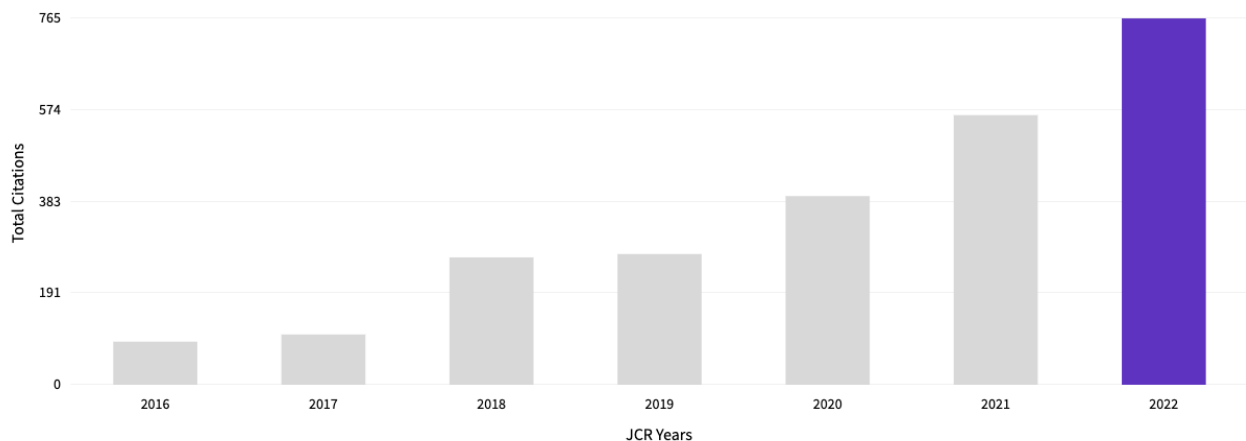
The Journal Citation Indicator (JCI) is the average Category Normalized Citation Impact (CNCI) of citable items (articles & reviews) published by a journal over a recent three year period. The average JCI in a category is 1. Journals with a JCI of 1.5 have 50% more citation impact than the average in that category. It may be used alongside other metrics to help you evaluate journals. [Learn more](#)



Total Citations

765

The total number of times that a journal has been cited by all journals included in the database in the JCR year. Citations to journals listed in JCR are compiled annually from the JCR years combined database, regardless of which JCR edition lists the journal.



Citation Distribution

The Citation Distribution shows the frequency with which items published in the year or two years prior were cited in the JCR data year (i.e., the component of the calculation of the JIF). The graph has similar functionality as the JIF Trend graph, including hover-over data descriptions for each data point, and an interactive legend where each data element's legend can be used as a toggle. You can view Articles, Reviews, or Non-Citable (other) items to the JIF numerator. [Learn more](#)

ARTICLE CITATION MEDIAN

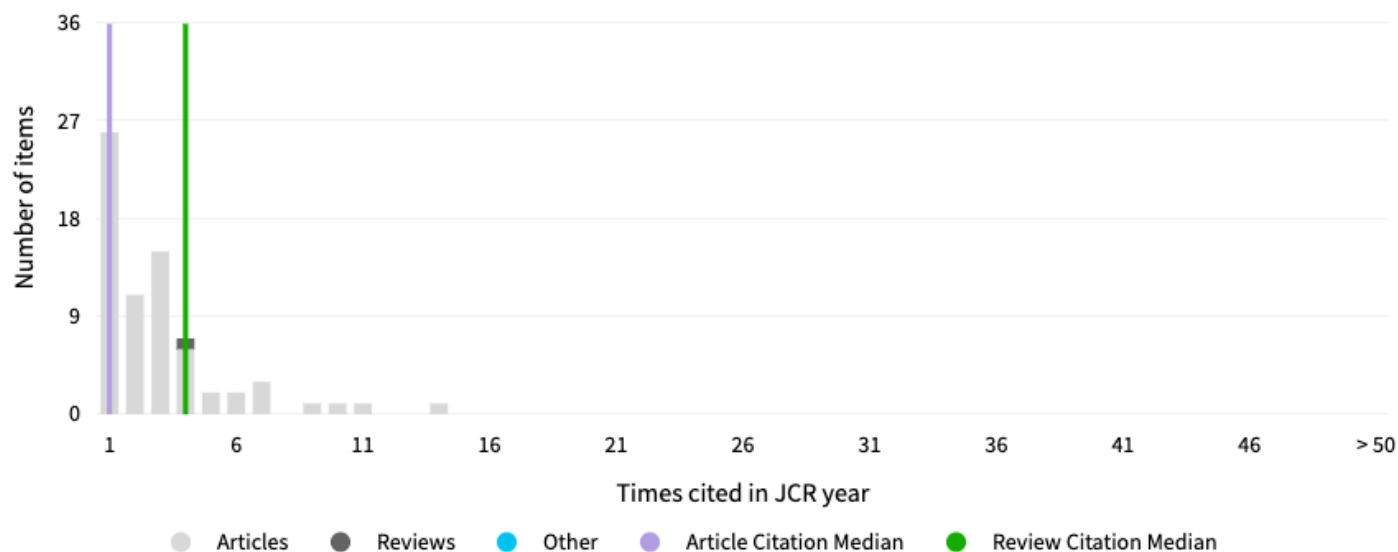
1

REVIEW CITATION MEDIAN

4

UNLINKED CITATIONS

8



0 times cited

ARTICLES

21

REVIEWS

0

OTHER

3

Open Access (OA)

The data included in this tile summarizes the items published in the journal in the JCR data year and in the previous two years. This three-year set of published items is used to provide descriptive analysis of the content and community of the journal. [Learn more](#)

Items

TOTAL CITABLE

148

% OF CITABLE OA

0.00%

CITABLE

● GOLD OPEN ACCESS

0 / 0.00%

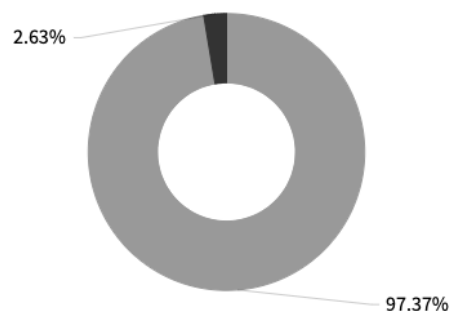
● SUBSCRIPTION OR BRONZE

148 / 97.37%

NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)

4 / 2.63%



Citations*

TOTAL CITABLE

263

% OF CITABLE OA

0.00%

CITABLE

● GOLD OPEN ACCESS

0 / 0.00%

● SUBSCRIPTION OR BRONZE

263 / 93.59%

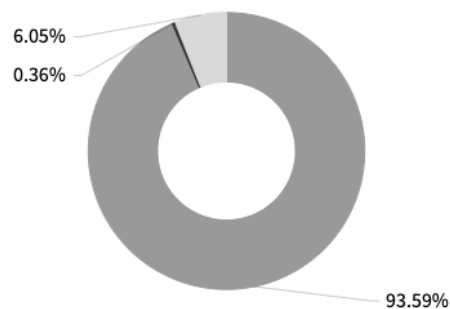
NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)

1 / 0.36%

● UNLINKED CITATIONS

17 / 6.05%



* Citations in 2022 to items published in (2020-2022)

Rank by Journal Impact factor

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Impact Factor (JIF) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order. [Learn more](#)








EDITION

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

COMPUTER SCIENCE, INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS

81/110

| JCR YEAR | JIF RANK | QUARTILE | JIF PERCENTILE | |
|----------|----------|----------|----------------|---|
| 2022 | 81/110 | Q3 | 26.8 |  |
| 2021 | 87/112 | Q4 | 22.77 |  |
| 2020 | 78/111 | Q3 | 30.18 |  |
| 2019 | 72/109 | Q3 | 34.40 |  |
| 2018 | 79/106 | Q3 | 25.94 |  |
| 2017 | 104/105 | Q4 | 1.43 |  |
| 2016 | 102/105 | Q4 | 3.33 |  |






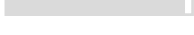
Rank by Journal Citation Indicator (JCI)

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Citation Indicator (JCI) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order. [Learn more](#)

CATEGORY

COMPUTER SCIENCE, INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS







5/163

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|---|
| 2022 | 5/163 | Q1 | 97.24  |
| 2021 | 1/156 | Q1 | 99.68  |
| 2020 | 2/142 | Q1 | 98.94  |
| 2019 | 2/140 | Q1 | 98.93  |
| 2018 | 3/138 | Q1 | 98.19  |
| 2017 | 7/136 | Q1 | 95.22  |

CATEGORY

HUMANITIES, MULTIDISCIPLINARY

13/395

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|---|
| 2022 | 13/395 | Q1 | 96.84  |
| 2021 | 8/402 | Q1 | 98.13  |
| 2020 | 5/392 | Q1 | 98.85  |
| 2019 | 5/391 | Q1 | 98.85  |
| 2018 | 11/389 | Q1 | 97.30  |
| 2017 | 52/374 | Q1 | 86.23  |

Citation network

Cited Half-life

4.1 years

The Cited Half-Life is the median age of the items in this journal that were cited in the JCR year. Half of a journal's cited items were published more recently than the cited half-life.

TOTAL NUMBER OF CITES

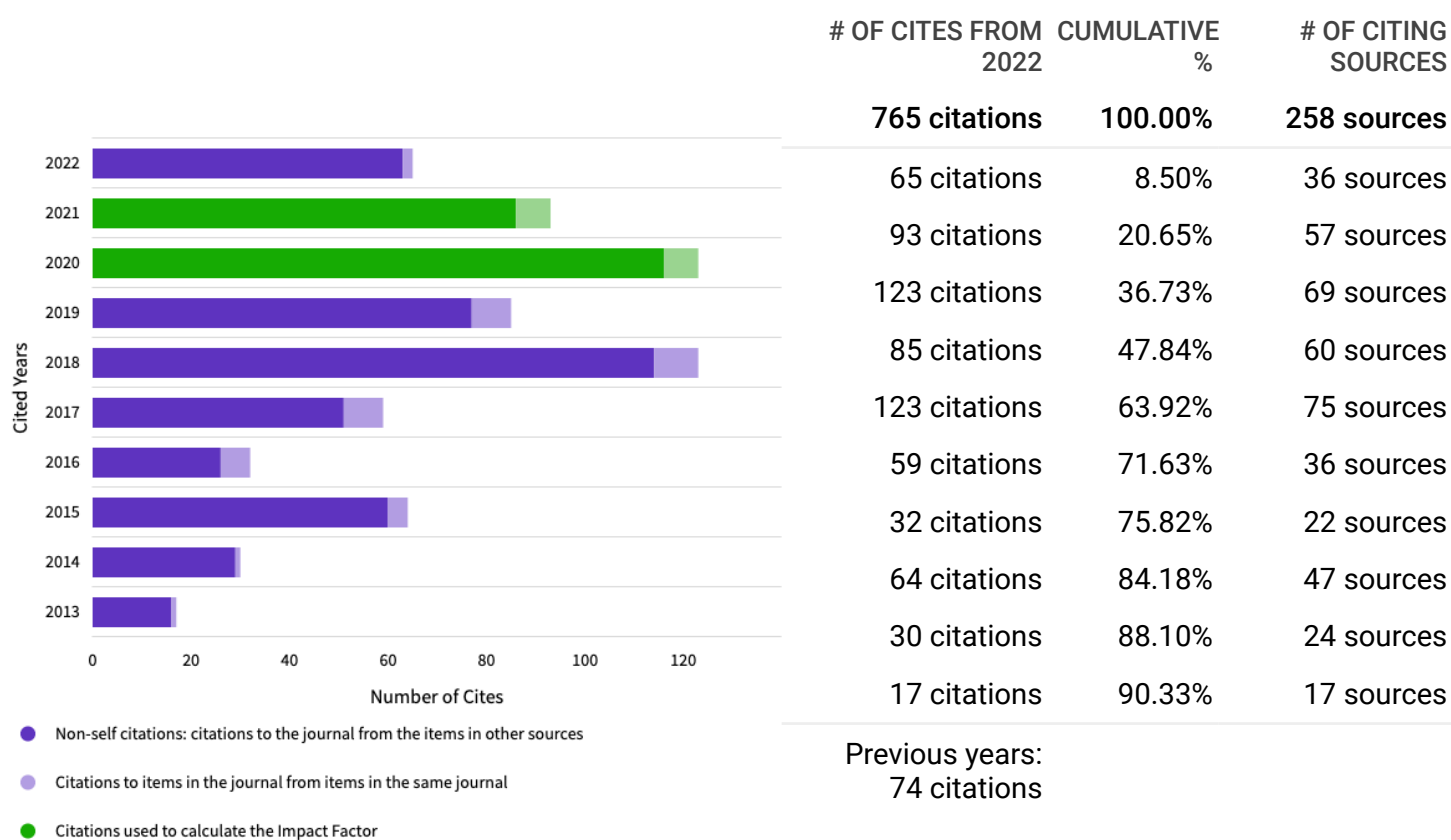
765

NON-SELF CITATIONS

705

SELF CITATIONS

60



Citing titles in all years

ACM Journal on Computing and Cultural Heritage

| | SOURCE NAME | COUNT |
|----|---|-------|
| | All Others | 153 |
| 1 | ACM Journal on Computing and Cultural Heritage | 60 |
| 2 | Applied Sciences-Basel | 52 |
| 3 | Heritage | 35 |
| 4 | Heritage Science | 27 |
| 5 | INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION | 20 |
| 6 | Sustainability | 17 |
| 7 | JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE | 15 |
| 8 | SENSORS | 12 |
| 9 | PLoS One | 9 |
| 10 | International Journal of Heritage Studies | 7 |
| 11 | MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS | 7 |
| 12 | Multimodal Technologies and Interaction | 7 |
| 13 | COMPUTERS & GRAPHICS-UK | 6 |
| 14 | Digital Scholarship in the Humanities | 6 |
| 15 | Information | 6 |
| 16 | INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION | 6 |
| 17 | Remote Sensing | 6 |
| 18 | AUTOMATION IN CONSTRUCTION | 5 |
| 19 | Electronics | 5 |
| 20 | Information Technology & Tourism | 5 |

Showing 1 - 20 rows of 84 total (use export in the relevant section to download the full table)

Citing Half-life

7.5 years

The Citing Half-Life is the median age of items in other publications cited by this journal in the JCR year.

TOTAL NUMBER OF CITES

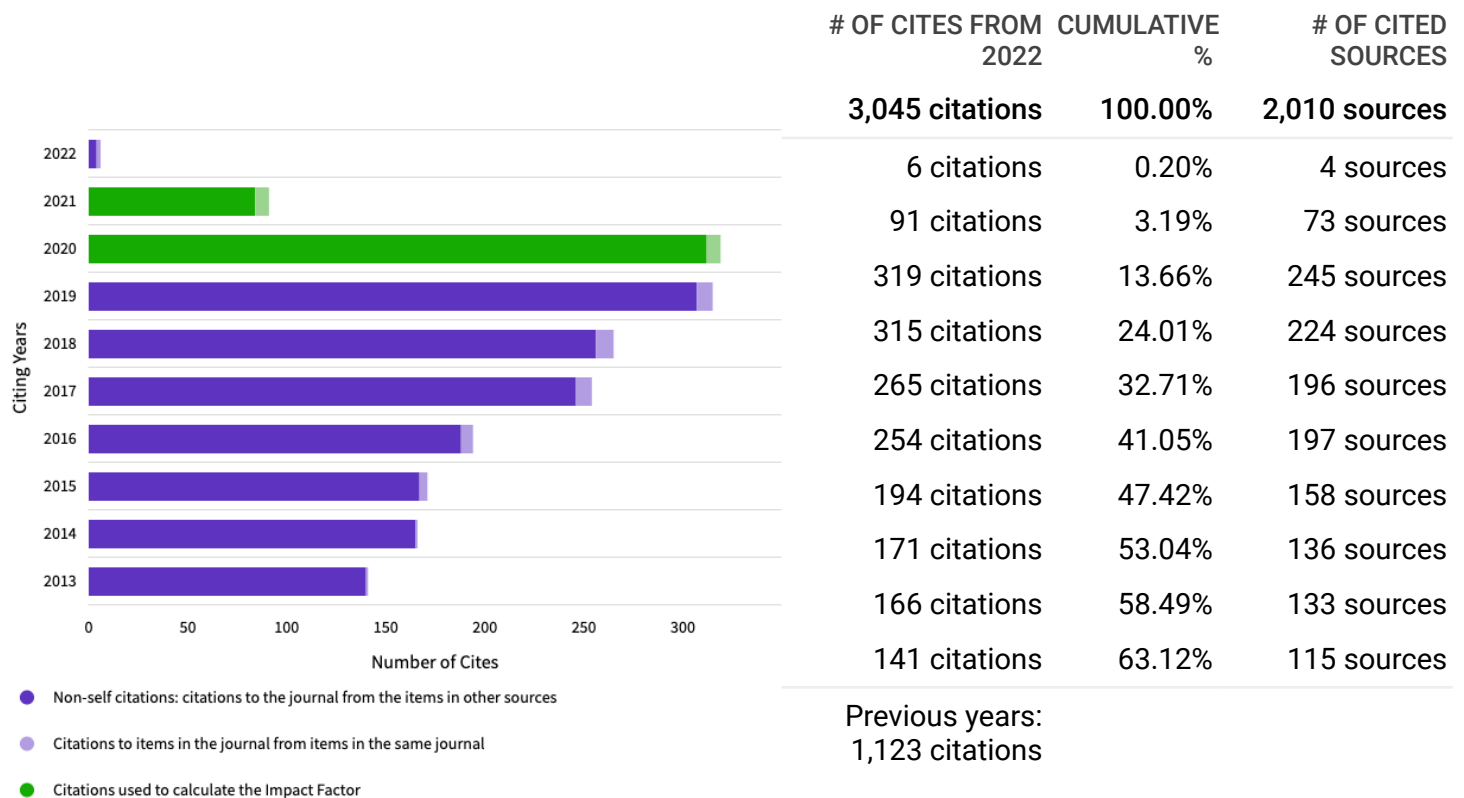
3,045

NON-SELF CITATIONS

2,985

SELF CITATIONS

60



Cited titles in all years

ACM Journal on Computing and Cultural Heritage

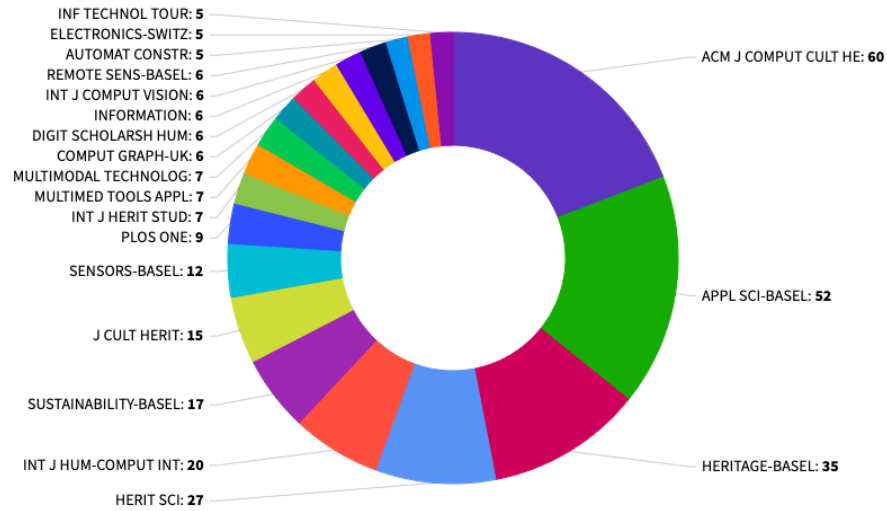
| | SOURCE NAME | COUNT |
|----|--|-------|
| | All Others | 1,719 |
| 1 | ACM Journal on Computing and Cultural Heritage | 60 |
| 2 | JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE | 29 |
| 3 | Museum Management and Curatorship | 16 |
| 4 | Records Management Journal | 15 |
| 5 | Semantic Web | 14 |
| 6 | ACM TRANSACTIONS ON GRAPHICS | 12 |
| 7 | COMMUNICATIONS OF THE ACM | 11 |
| 8 | IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE | 11 |
| 9 | Applied Sciences-Basel | 10 |
| 10 | Curator-The Museum Journal | 10 |
| 11 | Digital Scholarship in the Humanities | 10 |
| 12 | Archives and Manuscripts | 9 |
| 13 | COMPUTER GRAPHICS FORUM | 9 |
| 14 | International Journal on Digital Libraries | 9 |
| 15 | USER MODELING AND USER-ADAPTED INTERACTION | 9 |
| 16 | Journal of Web Semantics | 8 |
| 17 | Remote Sensing | 8 |
| 18 | Sustainability | 8 |
| 19 | IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING | 7 |
| 20 | International Journal of Architectural Heritage | 7 |

Showing 1 - 20 rows of 141 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Citation Relationships

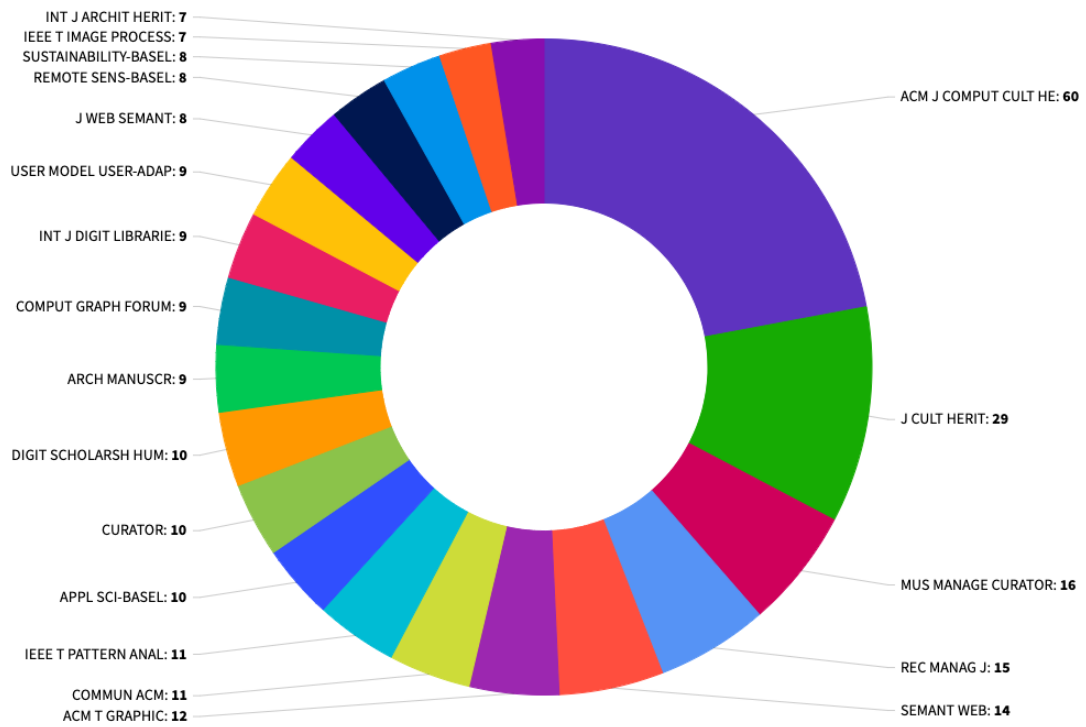
Cited Data

Top 20 journals citing ACM J COMPUT CULT HE by number of citations



Citing Data

Top 20 journals cited by ACM J COMPUT CULT HE by number of citations



Content metrics

Source data

This tile shows the breakdown of document types published by the journal. Citable Items are Articles and Reviews. For the purposes of calculating JIF, a JCR year considers the publications of that journal in the two prior years. [Learn more](#)

57 total citable items

| | ARTICLES | REVIEWS | COMBINED (C) | OTHER DOCUMENT TYPES (O) | PERCENTAGE |
|-----------------------------|----------|---------|--------------|--------------------------|------------|
| NUMBER IN JCR YEAR 2022 (A) | 56 | 1 | 57 | 1 | 98% |
| NUMBER OF REFERENCES (B) | 3,002 | 42 | 3,044 | 1 | 100% |
| RATIO (B/A) | 53.6 | 42.0 | 53.4 | 1.0 | |

Average JIF Percentile

The Average Journal Impact Factor Percentile takes the sum of the JIF Percentile rank for each category under consideration, then calculates the average of those values. [Learn more](#)

ALL CATEGORIES AVERAGE

26.8

EDITION

Science Citation Index Expanded

COMPUTER SCIENCE,
INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS

26.8

Contributions by Organizations

Organizations that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period. [Learn more](#)

| RANK | ORGANIZATION | COUNT | |
|------|--|-------|--|
| 1 | CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR) | 6 | |
| 2 | UNIVERSITY OF AEGEAN | 5 | |
| - | UNIVERSITY OF LONDON | 5 | |
| - | UTRECHT UNIVERSITY | 5 | |
| 5 | GHENT UNIVERSITY | 4 | |
| - | TRINITY COLLEGE DUBLIN | 4 | |
| - | UNIVERSITY COLLEGE LONDON | 4 | |
| - | UNIVERSITY OF TURIN | 4 | |

Showing 1 - 8 rows of 259 total (use export in the relevant section to download the full table)

Contributions by country/region

Countries or Regions that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period. [Learn more](#)

| RANK | COUNTRY/REGION | COUNT | |
|------|-----------------------|-------|--|
| 1 | Italy | 34 | |
| 2 | England | 22 | |
| 3 | Spain | 15 | |
| 4 | GERMANY (FED REP GER) | 13 | |
| - | Greece | 13 | |
| - | Netherlands | 13 | |
| 7 | USA | 12 | |
| 8 | CHINA MAINLAND | 6 | |

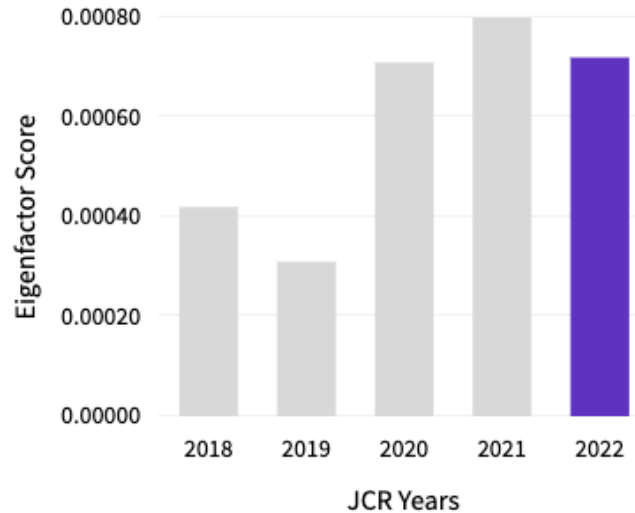
Showing 1 - 8 rows of 45 total (use export in the relevant section to download the full table)

Additional metrics

Eigenfactor score

0.00072

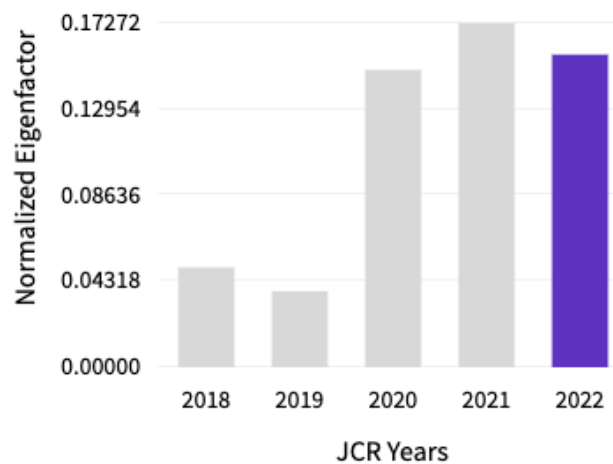
The Eigenfactor Score is a reflection of the density of the network of citations around the journal using 5 years of cited content as cited by the Current Year. It considers both the number of citations and the source of those citations, so that highly cited sources will influence the network more than less cited sources. The Eigenfactor calculation does not include journal self-citations. [Learn more](#)



Normalized Eigenfactor

0.15686

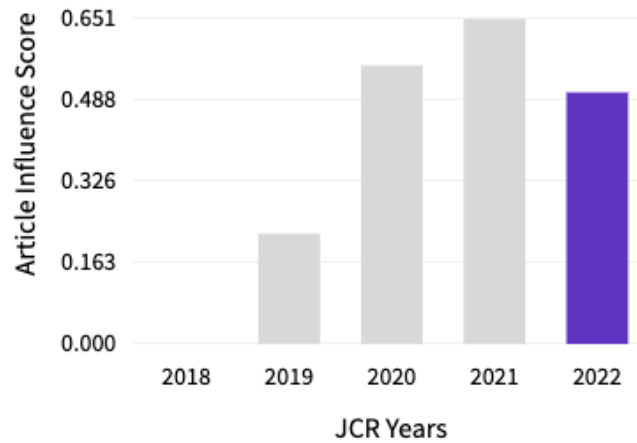
The Normalized Eigenfactor Score is the Eigenfactor score normalized, by rescaling the total number of journals in the JCR each year, so that the average journal has a score of 1. Journals can then be compared and influence measured by their score relative to 1. [Learn more](#)



Article influence score

0.504

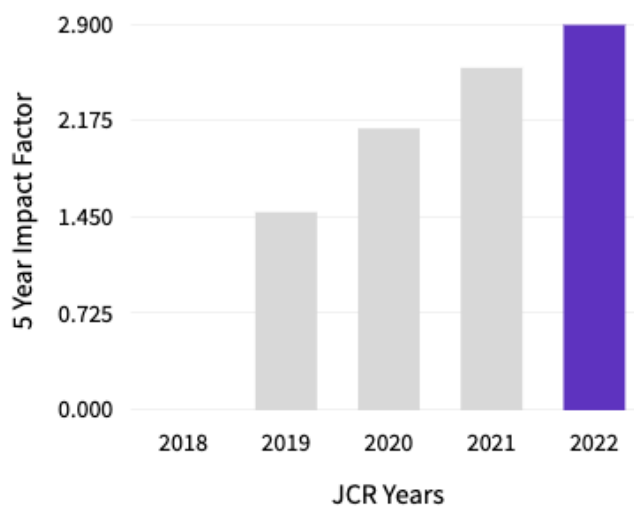
The Article Influence Score normalizes the Eigenfactor Score according to the cumulative size of the cited journal across the prior five years. The mean Article Influence Score for each article is 1.00. A score greater than 1.00 indicates that each article in the journal has above-average influence. [Learn more](#)



5 year Impact Factor

2.9

The 5-year Impact Factor is the average number of times articles from the journal published in the past five years have been cited in the JCR year. It is calculated by dividing the number of citations in the JCR year by the total number of articles published in the five previous years.



5 year Impact Factor calculation

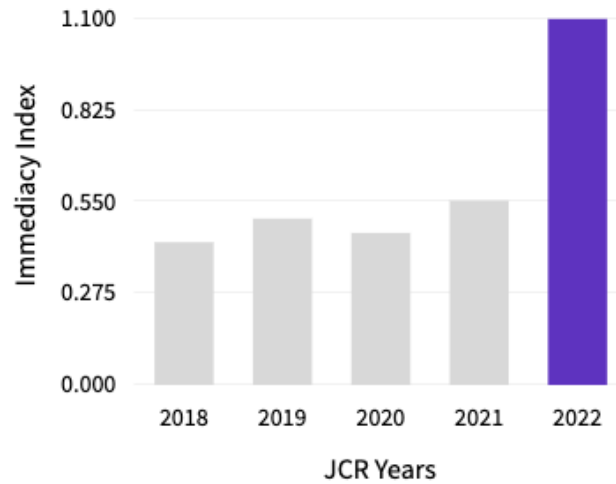
| | | | | |
|--|---|-----|---|-----|
| Citations in 2022 to items published in [2017-2021] (483) | = | 483 | = | 2.9 |
| Number of citable items in [2017-2021] (164) | | 164 | | |

Immediacy Index

1.1

The Immediacy Index is the count of citations in the current year to the journal that reference content in this same year. Journals that have a consistently high Immediacy Index attract citations rapidly.

[Learn more](#)



Immediacy Index calculation

| | | |
|--|----|---------------|
| Cites in 2022 to items published in 2022 | 65 | |
| <hr/> | | 65 / 57 = 1.1 |
| Number of items published in 2022 | 57 | |

2022 Journal Performance Data for: JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE

| | |
|------------------|------------------|
| ISSN | EISSN |
| 1296-2074 | 1778-3674 |
| JCR ABBREVIATION | ISO ABBREVIATION |
| J CULT HERIT | J. Cult. Herit. |

Journal Information

| | | |
|---|---|-------------------------|
| EDITION | CATEGORY | |
| Arts & Humanities Citation Index (AHCI) Science Citation Index Expanded (SCIE) | MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY - SCIE GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY - SCIE ARCHAEOLOGY - AHCI CHEMISTRY, ANALYTICAL - SCIE SPECTROSCOPY - SCIE ART - AHCI | |
| LANGUAGES | REGION | 1ST ELECTRONIC JCR YEAR |
| English | FRANCE | 2004 |

Publisher Information

| | | |
|---|--|-----------------------|
| PUBLISHER | ADDRESS | PUBLICATION FREQUENCY |
| ELSEVIER FRANCE-EDITIONS SCIENTIFIQUES MEDICALES ELSEVIER | 65 RUE CAMILLE DESMOULINS, CS50083, 92442 ISSY-LES-MOULINEAUX, FRANCE | 4 issues/year |

Journal's Performance

Journal Impact Factor

The Journal Impact Factor (JIF) is a journal-level metric calculated from data indexed in the Web of Science Core Collection. It should be used with careful attention to the many factors that influence citation rates, such as the volume of publication and citations characteristics of the subject area and type of journal. The Journal Impact Factor can complement expert opinion and informed peer review. In the case of academic evaluation for tenure, it is inappropriate to use a journal-level metric as a proxy measure for individual researchers, institutions, or articles. [Learn more](#)

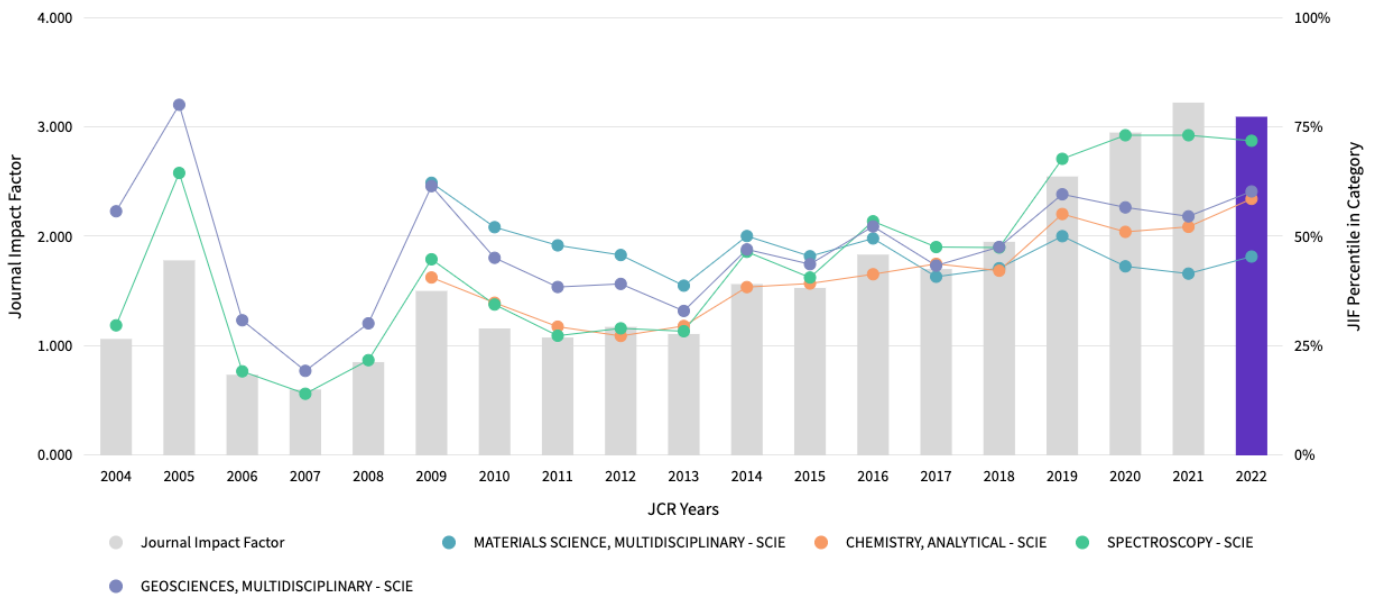
2022 JOURNAL IMPACT FACTOR

3.1

2022 JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

2.8

Journal Impact Factor Trend 2022



Journal Impact Factor is calculated using the following metrics

$$\frac{\text{Citations in 2022 to items published in 2020 (654) - 2021 (443)}}{\text{Number of citable items in 2020 (201) + 2021 (154)}} = \frac{1,097}{355} = 3.1$$

Journal Impact Factor without self cites is calculated using the following metrics

$$\frac{\text{Citations in 2022 to items published in 2020 (654) + 2021 (443) - Self Citations in 2022 to items published in 2020 (50) + 2021 (44)}}{\text{Number of citable items in 2020 (201) + 2021 (154)}} = \frac{1,097 - 94}{355} = 2.8$$

Journal Impact Factor Contributing Items

Citable Items (355)

| TITLE | CITATION COUNT |
|---|----------------|
| Machine learning techniques for structural health monitoring of heritage buildings: A state-of-the-art review and case studies Authors: Mishra, Mayank Volume: 47 Accession number: WOS:000756018000001 Document Type: Review | 29 |
| Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques Authors: Yang, Xiucheng;Grussenmeyer, Pierre;Koehl, Mathieu;Macher, Helene;Murtiyoso, Arnadi;Landes, Tania Volume: 46 Accession number: WOS:000600667400007 Document Type: Review | 23 |
| 3D reconstruction and validation of historical background for immersive VR applications and games: The case study of the Forum of Augustus in Rome Authors: Ferdani, Daniele;Fanini, Bruno;Piccioli, Maria Claudia;Carboni, Fabiana;Vigliarolo, Paolo Volume: 43 Accession number: WOS:000547429900001 Document Type: Article | 20 |
| Virtual museums. Captured reality and 3D modeling Authors: Loaiza Carvajal, Daniel Alejandro;Mercedes Morita, Maria;Mario Bilmes, Gabriel Volume: 45 Accession number: WOS:000584607800008 Document Type: Article | 19 |
| An integrated approach for assessing the vulnerability of World Heritage Sites to climate change impacts Authors: Sesana, Elena;Gagnon, Alexandre S.;Bonazza, Alessandra;Hughes, John J. Volume: 41 Accession number: WOS:000512989600020 Document Type: Article | 17 |

Showing 1-5 rows of 355 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Impact Factor Contributing Items

Citing Sources (373)

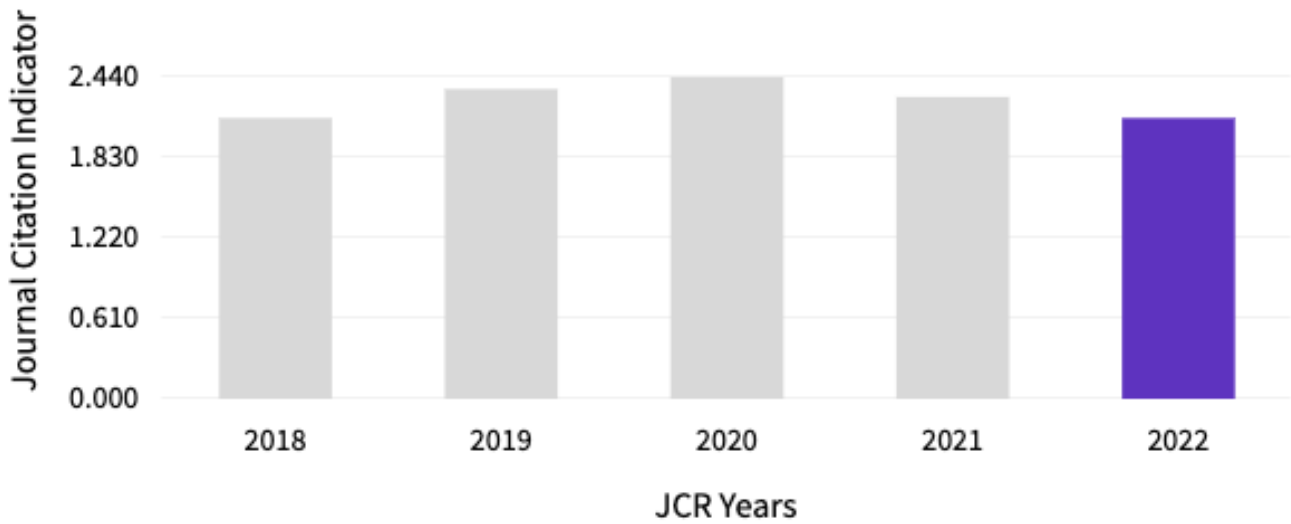
| SOURCE NAME | COUNT |
|---|-------|
| JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE | 94 |
| HERITAGE SCIENCE | 59 |
| SUSTAINABILITY | 45 |
| HERITAGE | 34 |
| BUILDINGS | 28 |
| APPLIED SCIENCES-BASEL | 23 |
| COATINGS | 19 |
| MATERIALS | 17 |
| REMOTE SENSING | 16 |
| CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS | 15 |
| ARCHAEOLOGICAL AND ANTHROPOLOGICAL SCIENCES | 12 |
| STUDIES IN CONSERVATION | 12 |
| BUILDING AND ENVIRONMENT | 11 |
| JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING | 11 |
| SENSORS | 11 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL HERITAGE | 10 |
| JOURNAL OF ARCHAEOLOGICAL SCIENCE-REPORTS | 10 |
| MOLECULES | 10 |
| ENERGY AND BUILDINGS | 9 |
| INTERNATIONAL BIODETERIORATION & BIODEGRADATION | 9 |

Showing 1-20 rows of 373 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Citation Indicator (JCI)

2.13

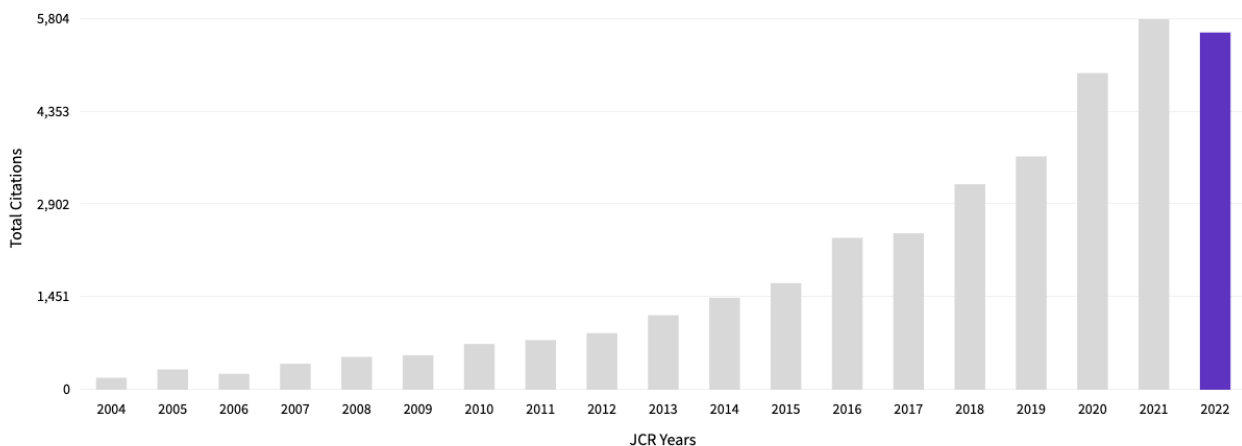
The Journal Citation Indicator (JCI) is the average Category Normalized Citation Impact (CNCI) of citable items (articles & reviews) published by a journal over a recent three year period. The average JCI in a category is 1. Journals with a JCI of 1.5 have 50% more citation impact than the average in that category. It may be used alongside other metrics to help you evaluate journals. [Learn more](#)



Total Citations

5,595

The total number of times that a journal has been cited by all journals included in the database in the JCR year. Citations to journals listed in JCR are compiled annually from the JCR years combined database, regardless of which JCR edition lists the journal.



Citation Distribution

The Citation Distribution shows the frequency with which items published in the year or two years prior were cited in the JCR data year (i.e., the component of the calculation of the JIF). The graph has similar functionality as the JIF Trend graph, including hover-over data descriptions for each data point, and an interactive legend where each data element's legend can be used as a toggle. You can view Articles, Reviews, or Non-Citable (other) items to the JIF numerator. [Learn more](#)

ARTICLE CITATION MEDIAN

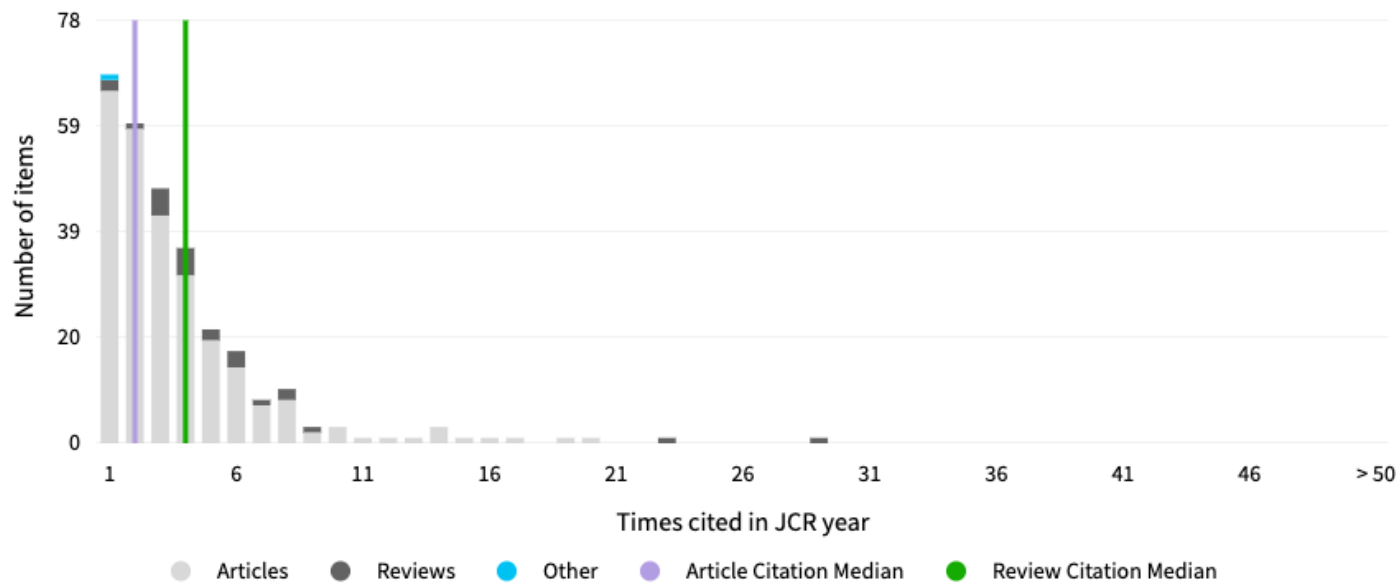
2

REVIEW CITATION MEDIAN

4

UNLINKED CITATIONS

9



0 times cited

ARTICLES

68

REVIEWS

3

OTHER

6

Open Access (OA)

The data included in this tile summarizes the items published in the journal in the JCR data year and in the previous two years. This three-year set of published items is used to provide descriptive analysis of the content and community of the journal. [Learn more](#)

Items

TOTAL CITABLE

509

% OF CITABLE OA

14.54%

CITABLE

● GOLD OPEN ACCESS

74 / 14.26%

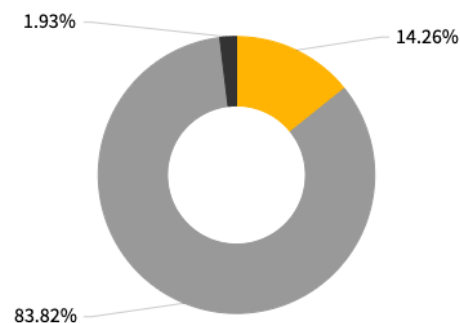
● SUBSCRIPTION OR BRONZE

435 / 83.82%

NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)

10 / 1.93%



Citations*

TOTAL CITABLE

1,203

% OF CITABLE OA

12.88%

CITABLE

● GOLD OPEN ACCESS

155 / 12.67%

● SUBSCRIPTION OR BRONZE

1,048 / 85.69%

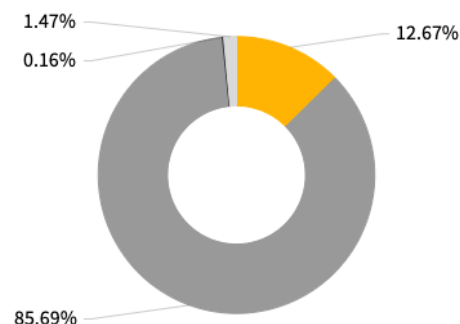
NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)

2 / 0.16%

● UNLINKED CITATIONS

18 / 1.47%



* Citations in 2022 to items published in (2020-2022)

Rank by Journal Impact factor

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Impact Factor (JIF) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order. [Learn more](#)

EDITION

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY

187/342

| JCR YEAR | JIF RANK | QUART ILE | JIF PERCENTILE | |
|----------|----------|-----------|----------------|--|
| 2022 | 187/342 | Q3 | 45.5 | |
| 2021 | 202/345 | Q3 | 41.59 | |
| 2020 | 190/334 | Q3 | 43.26 | |
| 2019 | 157/314 | Q2 | 50.16 | |
| 2018 | 168/293 | Q3 | 42.83 | |
| 2017 | 169/285 | Q3 | 40.88 | |
| 2016 | 139/275 | Q3 | 49.64 | |
| 2015 | 148/271 | Q3 | 45.57 | |
| 2014 | 130/260 | Q2 | 50.19 | |
| 2013 | 154/251 | Q3 | 38.84 | |
| 2012 | 131/241 | Q3 | 45.85 | |
| 2011 | 121/232 | Q3 | 48.06 | |
| 2010 | 108/225 | Q2 | 52.22 | |
| 2009 | 81/214 | Q2 | 62.38 | |
| 2008 | N/A | N/A | N/A | |
| 2007 | N/A | N/A | N/A | |
| 2006 | N/A | N/A | N/A | |
| 2005 | N/A | N/A | N/A | |
| 2004 | N/A | N/A | N/A | |

EDITION

Science Citation Index Expanded (SCIE)

CATEGORY

SPECTROSCOPY

12/41

| JCR YEAR | JIF RANK | QUART ILE | JIF PERCENTILE | |
|----------|----------|-----------|----------------|--|
| 2022 | 12/41 | Q2 | 72.0 | |
| 2021 | 12/43 | Q2 | 73.26 | |
| 2020 | 12/43 | Q2 | 73.26 | |
| 2019 | 14/42 | Q2 | 67.86 | |
| 2018 | 22/41 | Q3 | 47.56 | |
| 2017 | 23/43 | Q3 | 47.67 | |
| 2016 | 20/42 | Q2 | 53.57 | |
| 2015 | 26/43 | Q3 | 40.70 | |
| 2014 | 24/44 | Q3 | 46.59 | |
| 2013 | 32/44 | Q3 | 28.41 | |
| 2012 | 31/43 | Q3 | 29.07 | |
| 2011 | 31/42 | Q3 | 27.38 | |
| 2010 | 28/42 | Q3 | 34.52 | |
| 2009 | 22/39 | Q3 | 44.87 | |
| 2008 | 31/39 | Q4 | 21.79 | |
| 2007 | 34/39 | Q4 | 14.10 | |
| 2006 | 32/39 | Q4 | 19.23 | |
| 2005 | 15/41 | Q2 | 64.63 | |
| 2004 | 30/42 | Q3 | 29.76 | |

Rank by Journal Citation Indicator (JCI)

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Citation Indicator (JCI) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order. [Learn more](#)

CATEGORY

ARCHAEOLOGY

4/158

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|----------------|
| 2022 | 4/158 | Q1 | 97.78 |
| 2021 | 2/156 | Q1 | 99.04 |
| 2020 | 4/154 | Q1 | 97.73 |
| 2019 | 4/154 | Q1 | 97.73 |
| 2018 | 5/151 | Q1 | 97.02 |
| 2017 | 3/149 | Q1 | 98.32 |

CATEGORY

ART

3/133

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|----------------|
| 2022 | 3/133 | Q1 | 98.12 |
| 2021 | 4/141 | Q1 | 97.52 |
| 2020 | 3/141 | Q1 | 98.23 |
| 2019 | 7/140 | Q1 | 95.36 |
| 2018 | 10/137 | Q1 | 93.07 |
| 2017 | 10/132 | Q1 | 92.80 |

CATEGORY

CHEMISTRY, ANALYTICAL

3/99

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|----------------|
| 2022 | 3/99 | Q1 | 97.47 |
| 2021 | 3/99 | Q1 | 97.47 |
| 2020 | 3/98 | Q1 | 97.45 |
| 2019 | 4/98 | Q1 | 96.43 |
| 2018 | 4/97 | Q1 | 96.39 |
| 2017 | 4/93 | Q1 | 96.24 |

CATEGORY

GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY

6/248

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|----------------|
| 2022 | 6/248 | Q1 | 97.78 |
| 2021 | 4/245 | Q1 | 98.57 |
| 2020 | 3/239 | Q1 | 98.95 |
| 2019 | 3/239 | Q1 | 98.95 |
| 2018 | 4/231 | Q1 | 98.48 |
| 2017 | 5/226 | Q1 | 98.01 |

CATEGORY

MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY

25/420

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|----------------|
| 2022 | 25/420 | Q1 | 94.17 |
| 2021 | 19/414 | Q1 | 95.53 |
| 2020 | 16/384 | Q1 | 95.96 |
| 2019 | 16/375 | Q1 | 95.87 |
| 2018 | 19/361 | Q1 | 94.88 |
| 2017 | 17/343 | Q1 | 95.19 |

CATEGORY

SPECTROSCOPY

2/42

| JCR YEAR | JCI RANK | QUART ILE | JCI PERCENTILE |
|----------|----------|-----------|----------------|
| 2022 | 2/42 | Q1 | 96.43 |
| 2021 | 3/46 | Q1 | 94.57 |
| 2020 | 3/46 | Q1 | 94.57 |
| 2019 | 3/46 | Q1 | 94.57 |
| 2018 | 3/46 | Q1 | 94.57 |
| 2017 | 3/46 | Q1 | 94.57 |

Citation network

Cited Half-life

5.9 years

The Cited Half-Life is the median age of the items in this journal that were cited in the JCR year. Half of a journal's cited items were published more recently than the cited half-life.

TOTAL NUMBER OF CITES

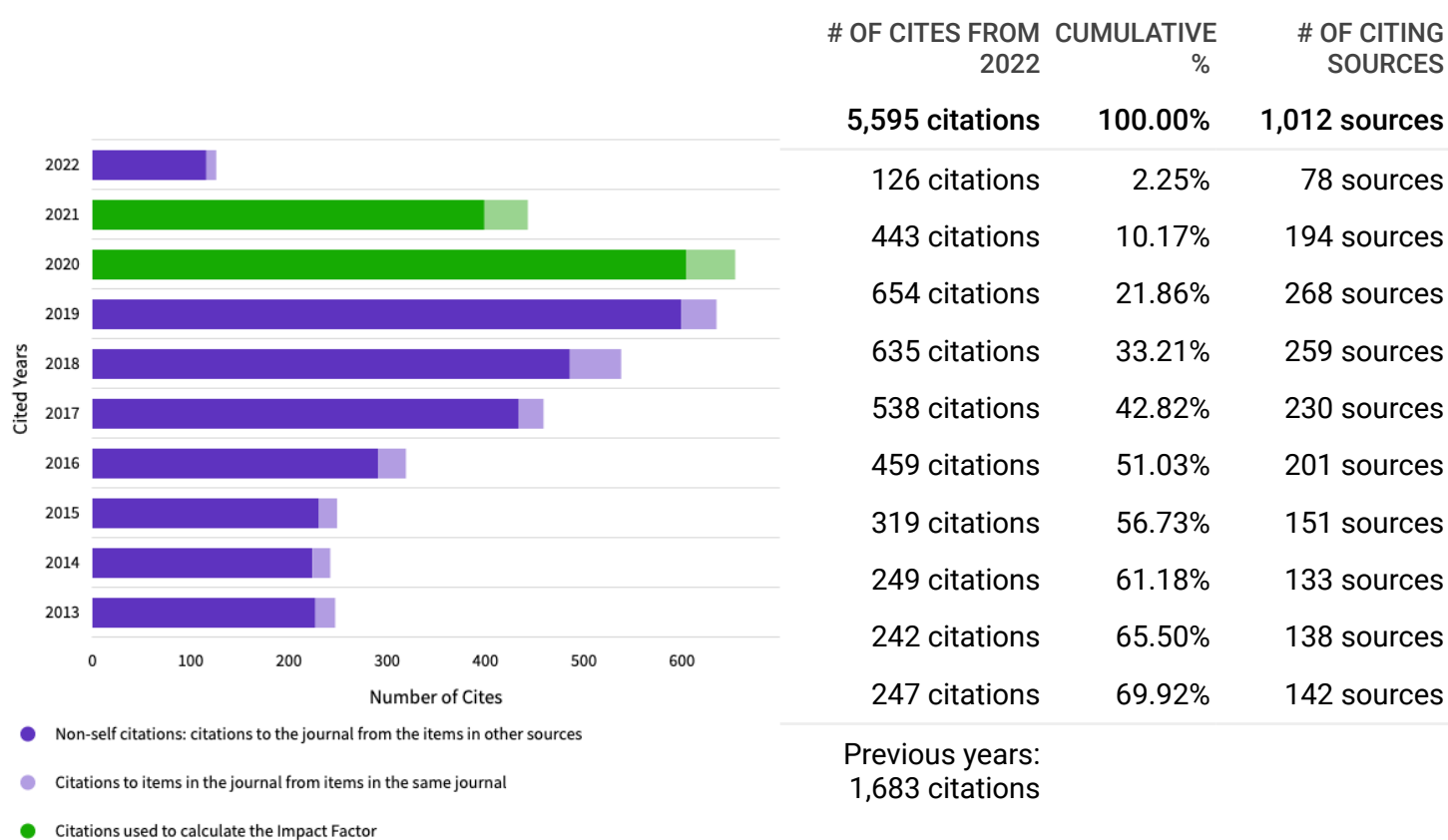
5,595

NON-SELF CITATIONS

5,183

SELF CITATIONS

412



Citing titles in all years

JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE

| | SOURCE NAME | COUNT |
|----|---|-------|
| | All Others | 512 |
| 1 | JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE | 412 |
| 2 | Heritage Science | 218 |
| 3 | Sustainability | 203 |
| 4 | Heritage | 194 |
| 5 | Applied Sciences-Basel | 168 |
| 6 | Construction and Building Materials | 119 |
| 7 | Materials | 92 |
| 8 | Buildings | 85 |
| 9 | Remote Sensing | 85 |
| 10 | Coatings | 81 |
| 11 | International Journal of Architectural Heritage | 75 |
| 12 | Archaeological and Anthropological Sciences | 73 |
| 13 | Journal of Archaeological Science-Reports | 70 |
| 14 | STUDIES IN CONSERVATION | 67 |
| 15 | Journal of Building Engineering | 65 |
| 16 | SENSORS | 56 |
| 17 | Scientific Reports | 55 |
| 18 | BUILDING AND ENVIRONMENT | 51 |
| 19 | ARCHAEOOMETRY | 50 |
| 20 | INTERNATIONAL BIODETERIORATION & BIODEGRADATION | 50 |

Showing 1 - 20 rows of 458 total (use export in the relevant section to download the full table)

Citing Half-life

9.6 years

The Citing Half-Life is the median age of items in other publications cited by this journal in the JCR year.

TOTAL NUMBER OF CITES

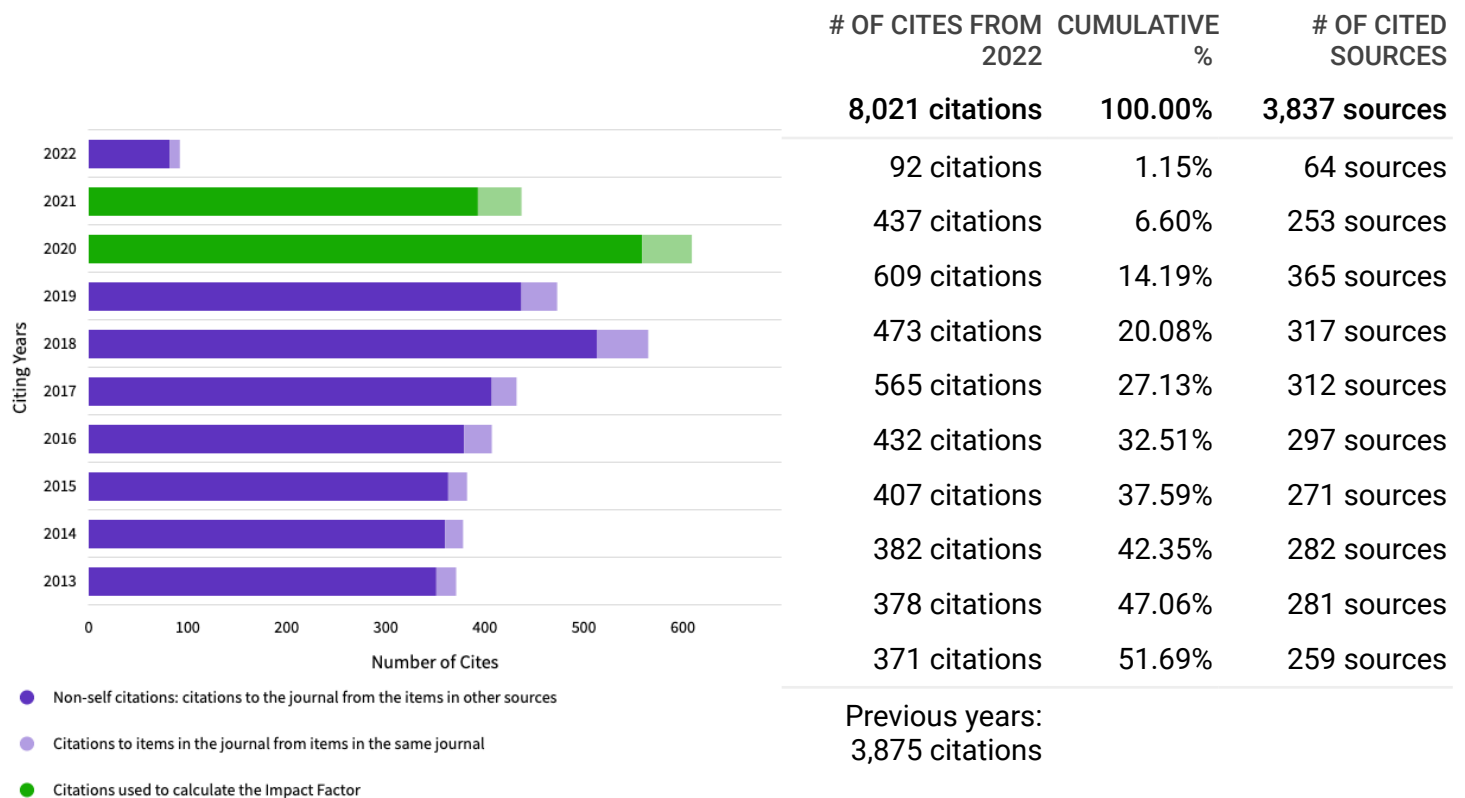
8,021

NON-SELF CITATIONS

7,609

SELF CITATIONS

412



Cited titles in all years

JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE

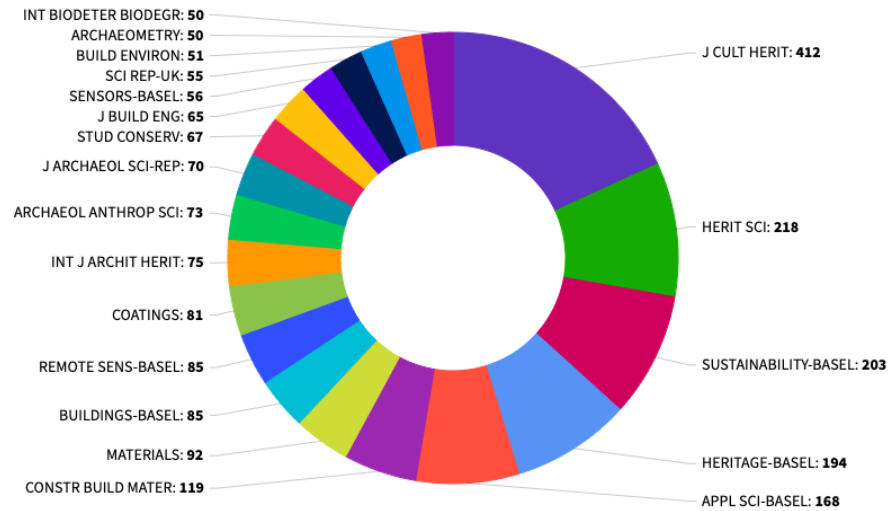
| | SOURCE NAME | COUNT |
|----|--|-------|
| | All Others | 3,079 |
| 1 | JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE | 412 |
| 2 | Construction and Building Materials | 135 |
| 3 | INTERNATIONAL BIODETERIORATION & BIODEGRADATION | 126 |
| 4 | STUDIES IN CONSERVATION | 101 |
| 5 | JOURNAL OF ARCHAEOLOGICAL SCIENCE | 73 |
| 6 | Heritage Science | 71 |
| 7 | Science of The Total Environment | 63 |
| 8 | APPLIED PHYSICS A-MATERIALS SCIENCE & PROCESSING | 60 |
| 9 | ARCHAEOOMETRY | 55 |
| 10 | ATMOSPHERIC ENVIRONMENT | 55 |
| 11 | BUILDING AND ENVIRONMENT | 53 |
| 12 | MICROCHEMICAL JOURNAL | 50 |
| 13 | ENERGY AND BUILDINGS | 49 |
| 14 | JOURNAL OF RAMAN SPECTROSCOPY | 43 |
| 15 | SPECTROCHIMICA ACTA PART B-ATOMIC SPECTROSCOPY | 40 |
| 16 | Sustainability | 36 |
| 17 | International Journal of Architectural Heritage | 35 |
| 18 | ANALYTICAL AND BIOANALYTICAL CHEMISTRY | 33 |
| 19 | Environmental Earth Sciences | 33 |
| 20 | Scientific Reports | 33 |

Showing 1 - 20 rows of 524 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Citation Relationships

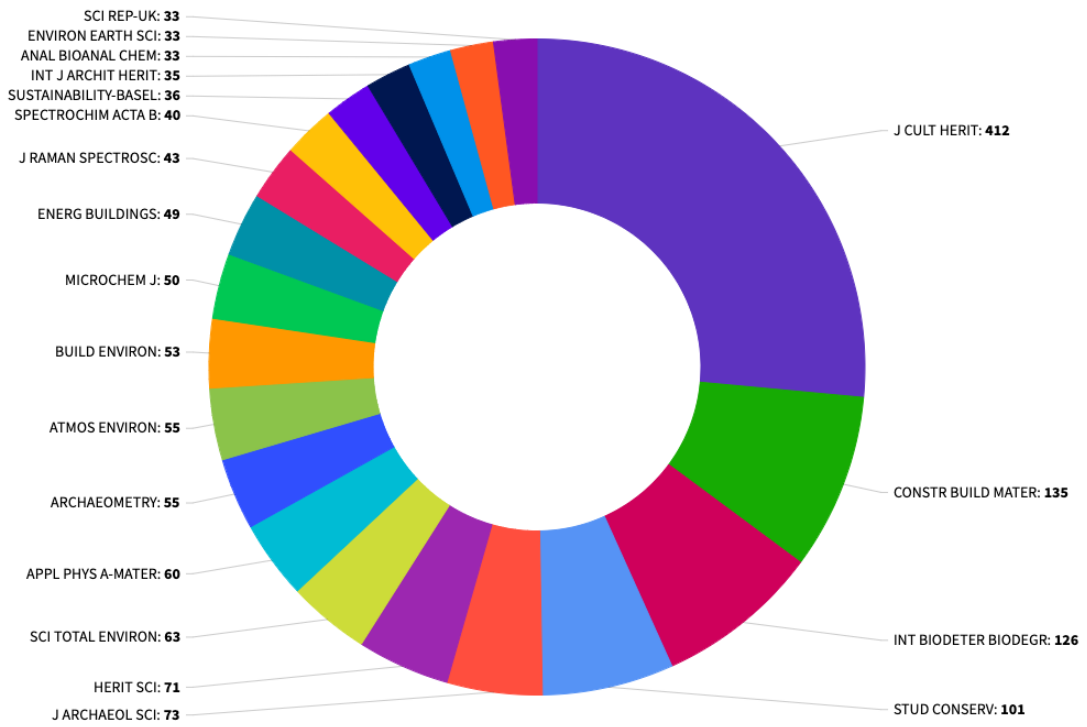
Cited Data

Top 20 journals citing J CULT HERIT by number of citations



Citing Data

Top 20 journals cited by J CULT HERIT by number of citations



Content metrics

Source data

This tile shows the breakdown of document types published by the journal. Citable Items are Articles and Reviews. For the purposes of calculating JIF, a JCR year considers the publications of that journal in the two prior years. [Learn more](#)

154 total citable items

| | ARTICLES | REVIEWS | COMBINED (C) | OTHER DOCUMENT TYPES (O) | PERCENTAGE |
|-----------------------------|----------|---------|--------------|--------------------------|------------|
| NUMBER IN JCR YEAR 2022 (A) | 145 | 9 | 154 | 3 | 98% |
| NUMBER OF REFERENCES (B) | 6,876 | 1,103 | 7,979 | 42 | 99% |
| RATIO (B/A) | 47.4 | 122.6 | 51.8 | 14.0 | |

Average JIF Percentile

The Average Journal Impact Factor Percentile takes the sum of the JIF Percentile rank for each category under consideration, then calculates the average of those values. [Learn more](#)

ALL CATEGORIES AVERAGE

59.2

EDITION

Science Citation Index Expanded

GEOSCIENCES, MULTIDISCIPLINARY

60.4

SPECTROSCOPY

72.0

CHEMISTRY, ANALYTICAL

58.7

MATERIALS SCIENCE,
MULTIDISCIPLINARY

45.5

Contributions by Organizations

Organizations that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period. [Learn more](#)

| RANK | ORGANIZATION | COUNT | |
|------|---|-------|--|
| 1 | CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR) | 55 | |
| 2 | CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) | 31 | |
| - | UDICE-FRENCH RESEARCH UNIVERSITIES | 31 | |
| 4 | SAPIENZA UNIVERSITY ROME | 16 | |
| 5 | UNIVERSITY OF FLORENCE | 14 | |
| 6 | UNIVERSITY OF BOLOGNA | 13 | |
| 7 | UNIVERSITY OF TURIN | 12 | |
| 8 | POLYTECHNIC UNIVERSITY OF MILAN | 11 | |

Showing 1 - 8 rows of 775 total (use export in the relevant section to download the full table)

Contributions by country/region

Countries or Regions that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period. [Learn more](#)

| RANK | COUNTRY/REGION | COUNT | |
|------|----------------|-------|--|
| 1 | Italy | 170 | |
| 2 | CHINA MAINLAND | 69 | |
| 3 | Spain | 61 | |
| 4 | France | 55 | |
| 5 | USA | 32 | |
| 6 | England | 26 | |
| 7 | Portugal | 24 | |
| 8 | Greece | 20 | |

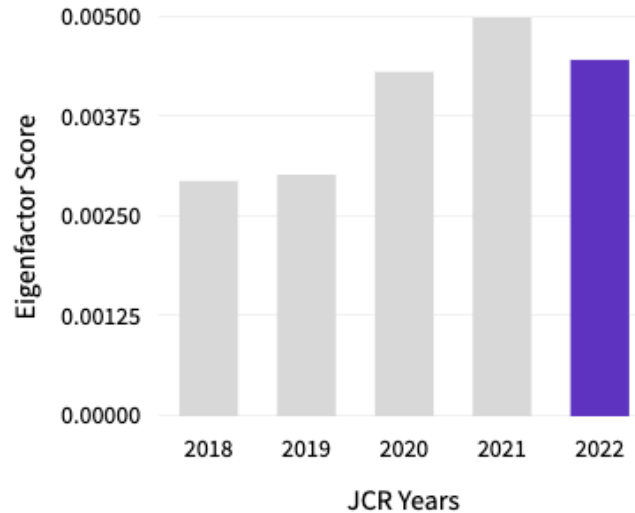
Showing 1 - 8 rows of 68 total (use export in the relevant section to download the full table)

Additional metrics

Eigenfactor score

0.00447

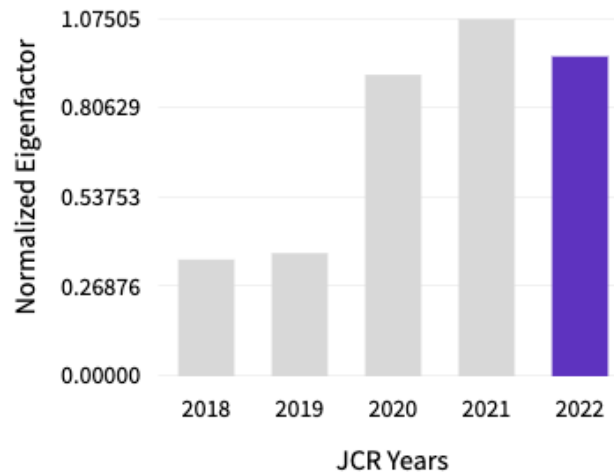
The Eigenfactor Score is a reflection of the density of the network of citations around the journal using 5 years of cited content as cited by the Current Year. It considers both the number of citations and the source of those citations, so that highly cited sources will influence the network more than less cited sources. The Eigenfactor calculation does not include journal self-citations. [Learn more](#)



Normalized Eigenfactor

0.96259

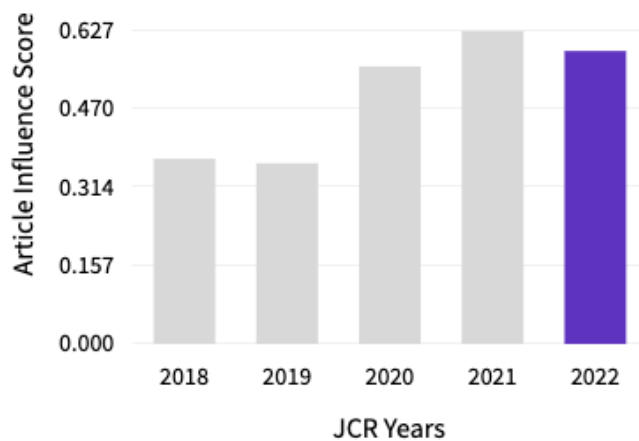
The Normalized Eigenfactor Score is the Eigenfactor score normalized, by rescaling the total number of journals in the JCR each year, so that the average journal has a score of 1. Journals can then be compared and influence measured by their score relative to 1. [Learn more](#)



Article influence score

0.587

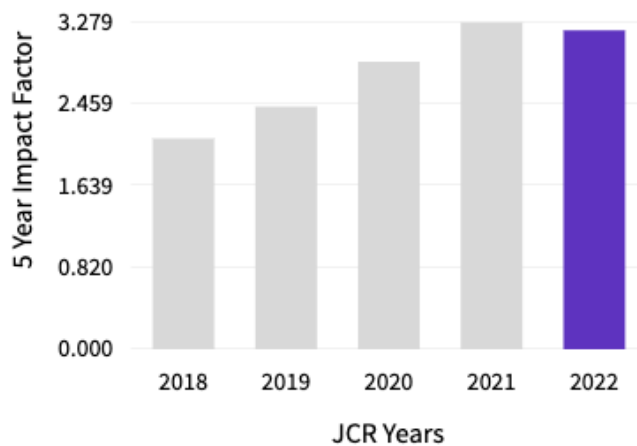
The Article Influence Score normalizes the Eigenfactor Score according to the cumulative size of the cited journal across the prior five years. The mean Article Influence Score for each article is 1.00. A score greater than 1.00 indicates that each article in the journal has above-average influence. [Learn more](#)



5 year Impact Factor

3.2

The 5-year Impact Factor is the average number of times articles from the journal published in the past five years have been cited in the JCR year. It is calculated by dividing the number of citations in the JCR year by the total number of articles published in the five previous years.



5 year Impact Factor calculation

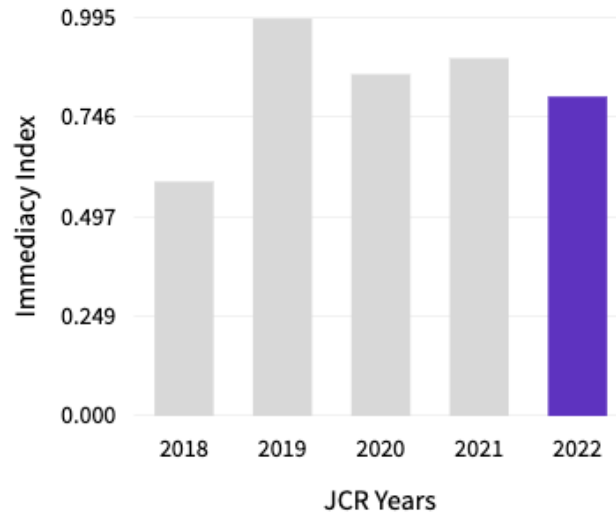
| | | | | |
|--|---|---------------------|---|-----|
| Citations in 2022 to items published in [2017-2021] (2,729) | = | $\frac{2,729}{864}$ | = | 3.2 |
| Number of citable items in [2017-2021] (864) | | | | |

Immediacy Index

0.8

The Immediacy Index is the count of citations in the current year to the journal that reference content in this same year. Journals that have a consistently high Immediacy Index attract citations rapidly.

[Learn more](#)



Immediacy Index calculation

| | | |
|--|-----|-----------------|
| Cites in 2022 to items published in 2022 | 126 | |
| <hr/> | | 126 / 154 = 0.8 |
| Number of items published in 2022 | 154 | |

2022 Journal Performance Data for: Curator-The Museum Journal

| | |
|------------------|------------------|
| ISSN | EISSN |
| 0011-3069 | 2151-6952 |
| JCR ABBREVIATION | ISO ABBREVIATION |
| CURATOR | Curator |

Journal Information

| | | |
|---|---|-------------------------|
| EDITION | CATEGORY | |
| Arts & Humanities Citation Index (AHCI) | HUMANITIES, MULTIDISCIPLINARY - AHCI | |
| LANGUAGES | REGION | 1ST ELECTRONIC JCR YEAR |
| English | USA | 2020 |

Publisher Information

| | | |
|-----------|---|-----------------------|
| PUBLISHER | ADDRESS | PUBLICATION FREQUENCY |
| WILEY | 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ | 4 issues/year |

Journal's Performance

Journal Impact Factor

The Journal Impact Factor (JIF) is a journal-level metric calculated from data indexed in the Web of Science Core Collection. It should be used with careful attention to the many factors that influence citation rates, such as the volume of publication and citations characteristics of the subject area and type of journal. The Journal Impact Factor can complement expert opinion and informed peer review. In the case of academic evaluation for tenure, it is inappropriate to use a journal-level metric as a proxy measure for individual researchers, institutions, or articles. [Learn more](#)

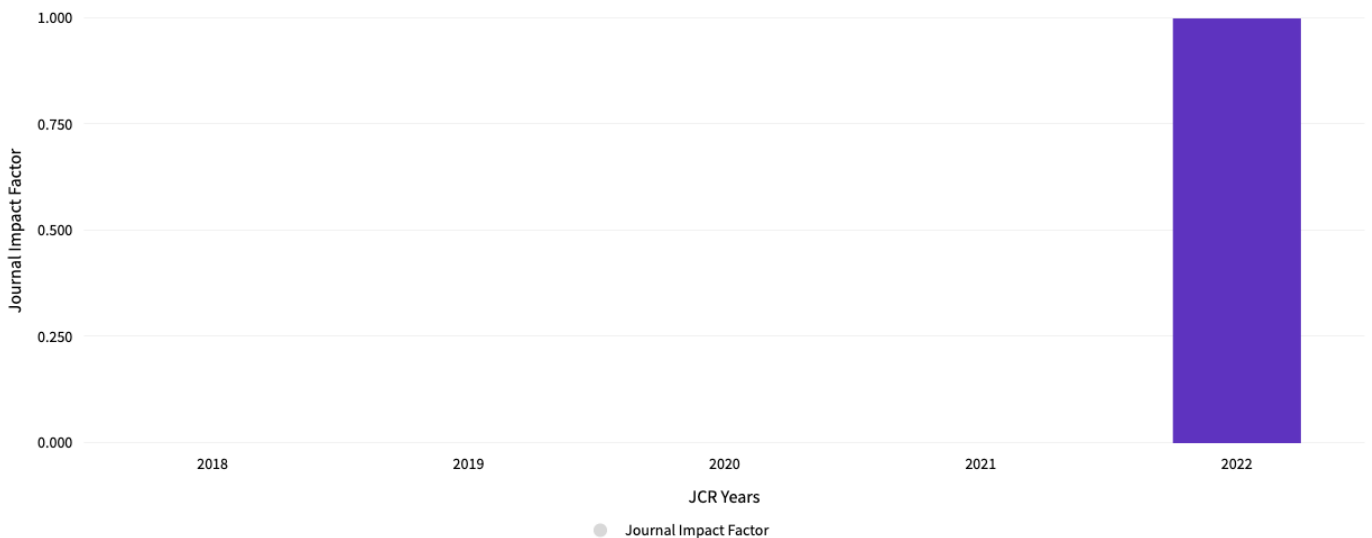
2022 JOURNAL IMPACT FACTOR

1.0

2022 JOURNAL IMPACT FACTOR WITHOUT SELF CITATIONS

0.9

Journal Impact Factor Trend 2022



Journal Impact Factor is calculated using the following metrics



$$\frac{\text{Citations in 2022 to items published in 2020 (29) - 2021 (49)}}{\text{Number of citable items in 2020 (36) + 2021 (46)}} = \frac{78}{82} = 1.0$$

Journal Impact Factor without self cites is calculated using the following metrics

$$\frac{\text{Citations in 2022 to items published in 2020 (29) + 2021 (49) - Self Citations in 2022 to items published in 2020 (5) + 2021 (3)}}{\text{Number of citable items in 2020 (36) + 2021 (46)}} = \frac{78 - 8}{82} = 0.9$$

Journal Impact Factor Contributing Items

Citable Items (82)

| TITLE | CITATION COUNT |
|--|--|
| Digital Responses of UK Museum Exhibitions to the COVID-19 Crisis, March - June 2020 Authors: King, Ellie;Smith, M. Paul;Wilson, Paul F.;Williams, Mark A. Volume: 64 Accession number: WOS:000637752500001 Document Type: Article | 17  |
| 'How Could the Dinosaurs Be So Close to the Future?': How Natural History Museum Educators Tackle Deep Time Authors: Hecht, Marijke;Knutson, Karen;Crowley, Kevin;Lyon, Mandela;McShea, Patrick;Giarratani, Lauren Volume: 63 Accession number: WOS:000496290000001 Document Type: Article | 4 |
| Curating the Contemporary: A Case for National and Local COVID-19 Collections Authors: Spennemann, Dirk H. R. Volume: 65 Accession number: WOS:000711884700001 Document Type: Article | 3 |
| Curriculum Based Interactive Exhibition Design and Family's Learning Experiences: A Case Study of the Children's Art Museum in Taipei Authors: Lee, Tiffany Shuang-Ching Volume: 63 Accession number: WOS:000510236200008 Document Type: Article | 3 |
| Digital Museum Objects and Memory: Postdigital Materiality, Aura and Value Authors: Meehan, Nicole Volume: 65 Accession number: WOS:000527308100001 Document Type: Article | 3  |

Showing 1-5 rows of 82 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Impact Factor Contributing Items

Citing Sources (57)

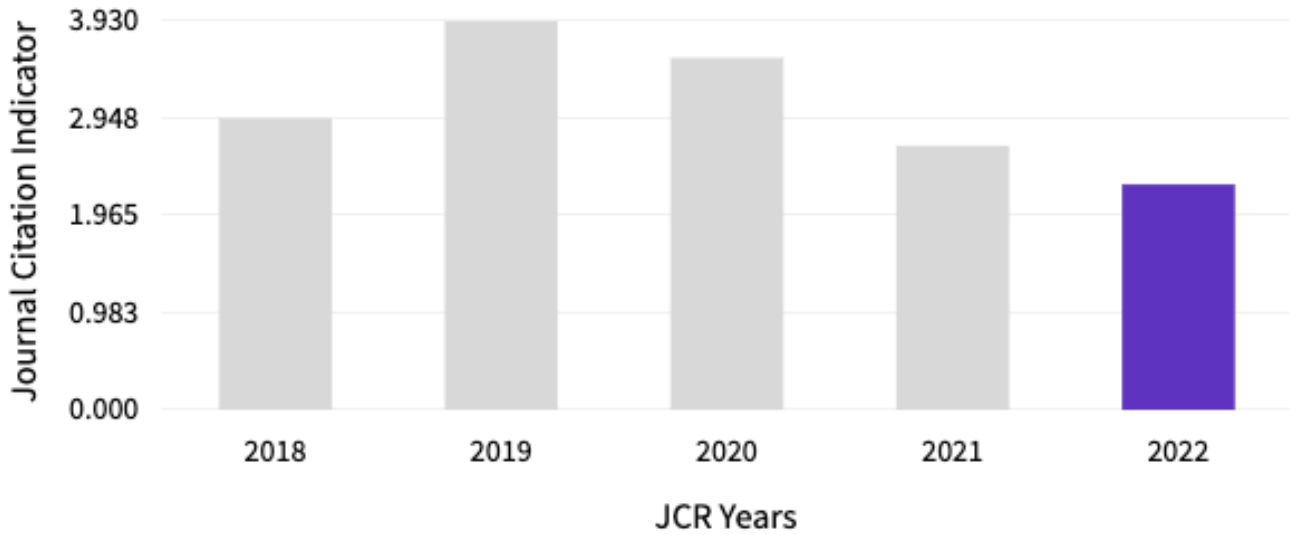
| SOURCE NAME | COUNT |
|--|-------|
| CURATOR-THE MUSEUM JOURNAL | 8 |
| HERITAGE | 3 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF THE INCLUSIVE MUSEUM | 3 |
| MUSEUM MANAGEMENT AND CURATORSHIP | 3 |
| MUSEUM WORLDS | 3 |
| CULTURE ET MUSEES | 2 |
| FRONTIERS IN PSYCHOLOGY | 2 |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION | 2 |
| INTERNATIONAL REVIEW ON PUBLIC AND NONPROFIT MARKETING | 2 |
| MULTIMODAL TECHNOLOGIES AND INTERACTION | 2 |
| NUNCIUS-JOURNAL OF THE HISTORY OF SCIENCE | 2 |
| ACM JOURNAL ON COMPUTING AND CULTURAL HERITAGE | 1 |
| ANADOLU UNIVERSITESI SANAT & TASARIM DERGISI-ANADOLU UNIVERSITY JOURNAL OF ART & DESIGN | 1 |
| ARCHAEOLOGIES-JOURNAL OF THE WORLD ARCHAEOLOGICAL CONGRESS | 1 |
| ATALANTE-REVISTA DE ESTUDIOS CINEMATOGRAFICOS | 1 |
| CITIES | 1 |
| COGNITION AND INSTRUCTION | 1 |
| CONSERVAR PATRIMONIO | 1 |
| CULTURE AND COMPUTING, C&C 2022 | 1 |
| DE ARTE | 1 |

Showing 1-20 rows of 57 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Citation Indicator (JCI)

2.28

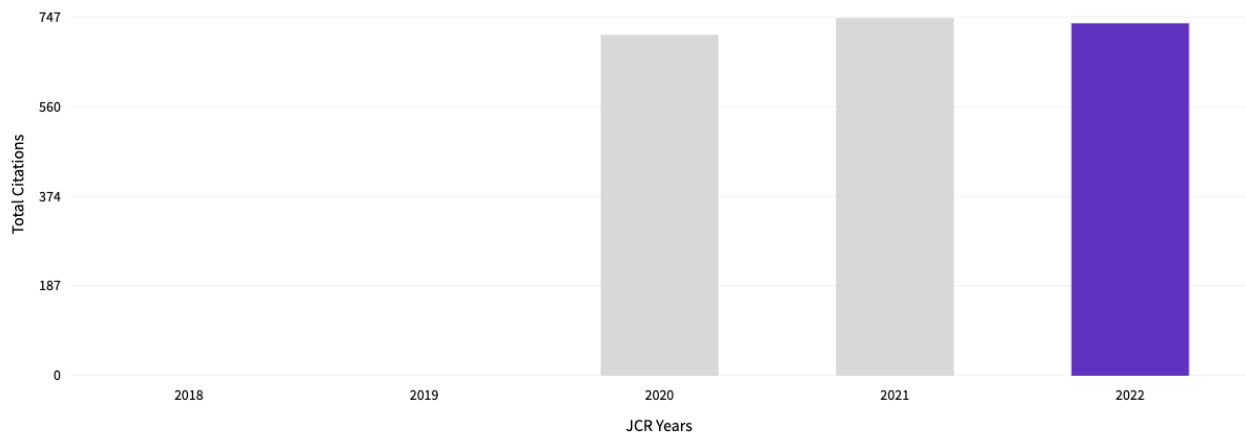
The Journal Citation Indicator (JCI) is the average Category Normalized Citation Impact (CNCI) of citable items (articles & reviews) published by a journal over a recent three year period. The average JCI in a category is 1. Journals with a JCI of 1.5 have 50% more citation impact than the average in that category. It may be used alongside other metrics to help you evaluate journals. [Learn more](#)



Total Citations

736

The total number of times that a journal has been cited by all journals included in the database in the JCR year. Citations to journals listed in JCR are compiled annually from the JCR years combined database, regardless of which JCR edition lists the journal.



Citation Distribution

The Citation Distribution shows the frequency with which items published in the year or two years prior were cited in the JCR data year (i.e., the component of the calculation of the JIF). The graph has similar functionality as the JIF Trend graph, including hover-over data descriptions for each data point, and an interactive legend where each data element's legend can be used as a toggle. You can view Articles, Reviews, or Non-Citable (other) items to the JIF numerator. [Learn more](#)

ARTICLE CITATION MEDIAN

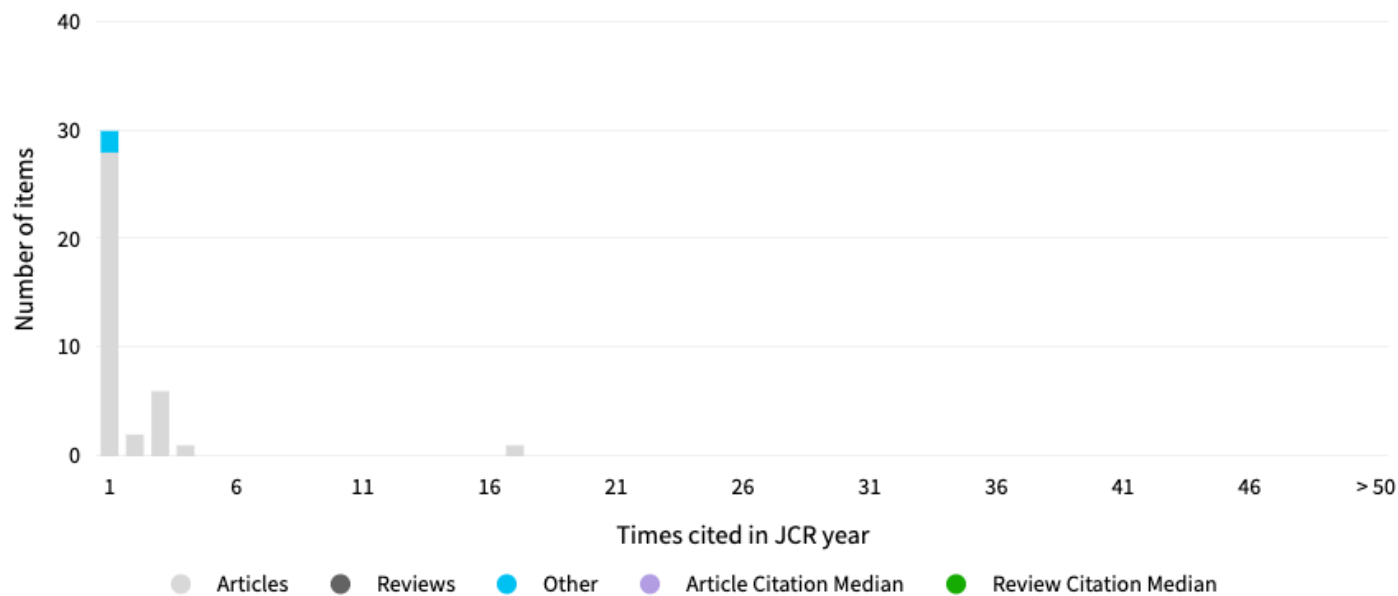
0

REVIEW CITATION MEDIAN

N/A

UNLINKED CITATIONS

5



0 times cited

ARTICLES

44

REVIEWS

0

OTHER

22

Open Access (OA)

The data included in this tile summarizes the items published in the journal in the JCR data year and in the previous two years. This three-year set of published items is used to provide descriptive analysis of the content and community of the journal. [Learn more](#)

Items

TOTAL CITABLE

130

% OF CITABLE OA

18.46%

CITABLE

● GOLD OPEN ACCESS

24 / 14.04%

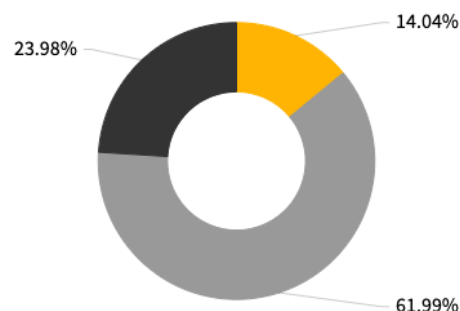
● SUBSCRIPTION OR BRONZE

106 / 61.99%

NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)

41 / 23.98%



Citations*

TOTAL CITABLE

76

% OF CITABLE OA

35.53%

CITABLE

● GOLD OPEN ACCESS

27 / 32.14%

● SUBSCRIPTION OR BRONZE

49 / 58.33%

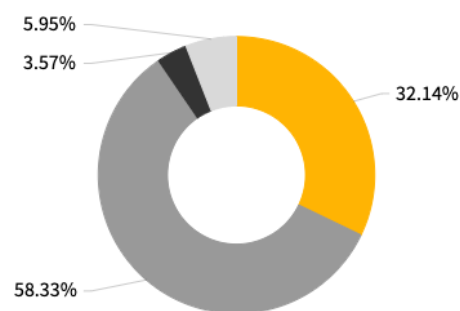
NON-CITABLE

● OTHER (NON-CITABLE ITEMS)

3 / 3.57%

● UNLINKED CITATIONS

5 / 5.95%



* Citations in 2022 to items published in (2020-2022)

Rank by Journal Impact factor

Note: While journals indexed in AHCI and ESCI are receiving a JIF for the first time in June 2023, they will not receive ranks, quartiles, or percentiles until the release of 2023 data in June 2024.[Learn more](#)

Rank by Journal Citation Indicator (JCI)

Journals within a category are sorted in descending order by Journal Citation Indicator (JCI) resulting in the Category Ranking below. A separate rank is shown for each category in which the journal is listed in JCR. Data for the most recent year is presented at the top of the list, with other years shown in reverse chronological order.[Learn more](#)

CATEGORY

HUMANITIES, MULTIDISCIPLINARY

23/395

| JCR YEAR | JCI RANK | QUARTILE | JCI PERCENTILE | |
|----------|----------|----------|----------------|--|
| 2022 | 23/395 | Q1 | 94.30 | |
| 2021 | 15/402 | Q1 | 96.39 | |
| 2020 | 8/392 | Q1 | 98.09 | |
| 2019 | 9/391 | Q1 | 97.83 | |
| 2018 | 16/389 | Q1 | 96.02 | |
| 2017 | 47/374 | Q1 | 87.57 | |

Citation network

Cited Half-life

10.9 years

The Cited Half-Life is the median age of the items in this journal that were cited in the JCR year. Half of a journal's cited items were published more recently than the cited half-life.

TOTAL NUMBER OF CITES

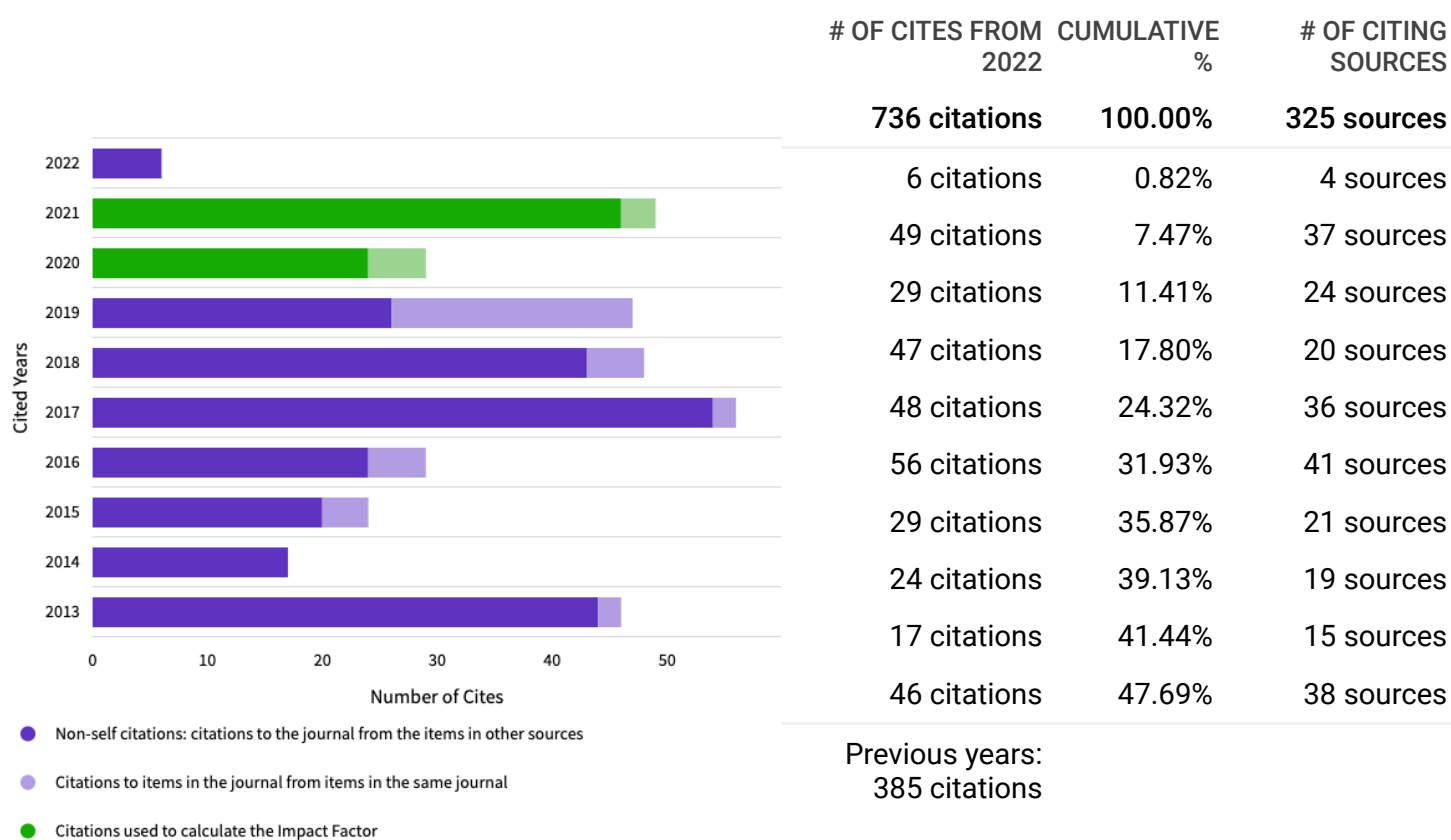
736

NON-SELF CITATIONS

675

SELF CITATIONS

61



Citing titles in all years

Curator-The Museum Journal

| | SOURCE NAME | COUNT |
|----|--|-------|
| | All Others | 211 |
| 1 | Curator-The Museum Journal | 61 |
| 2 | Museum Management and Curatorship | 37 |
| 3 | ZOO BIOLOGY | 18 |
| 4 | Frontiers in Psychology | 14 |
| 5 | Visitor Studies | 12 |
| 6 | ACM Journal on Computing and Cultural Heritage | 10 |
| 7 | Psychology of Aesthetics Creativity and the Arts | 10 |
| 8 | SCIENCE EDUCATION | 9 |
| 9 | JOURNAL OF AESTHETIC EDUCATION | 8 |
| 10 | JCOM-Journal of Science Communication | 8 |
| 11 | PLoS One | 8 |
| 12 | Revista de Humanidades | 8 |
| 13 | Animals | 7 |
| 14 | Heritage | 6 |
| 15 | International Journal of the Inclusive Museum | 6 |
| 16 | Journal of Museum Education | 6 |
| 17 | MUSEUM INTERNATIONAL | 6 |
| 18 | Social Semiotics | 6 |
| 19 | Sustainability | 6 |
| 20 | Environmental Education Research | 5 |

Showing 1 - 20 rows of 102 total (use export in the relevant section to download the full table)

Citing Half-life

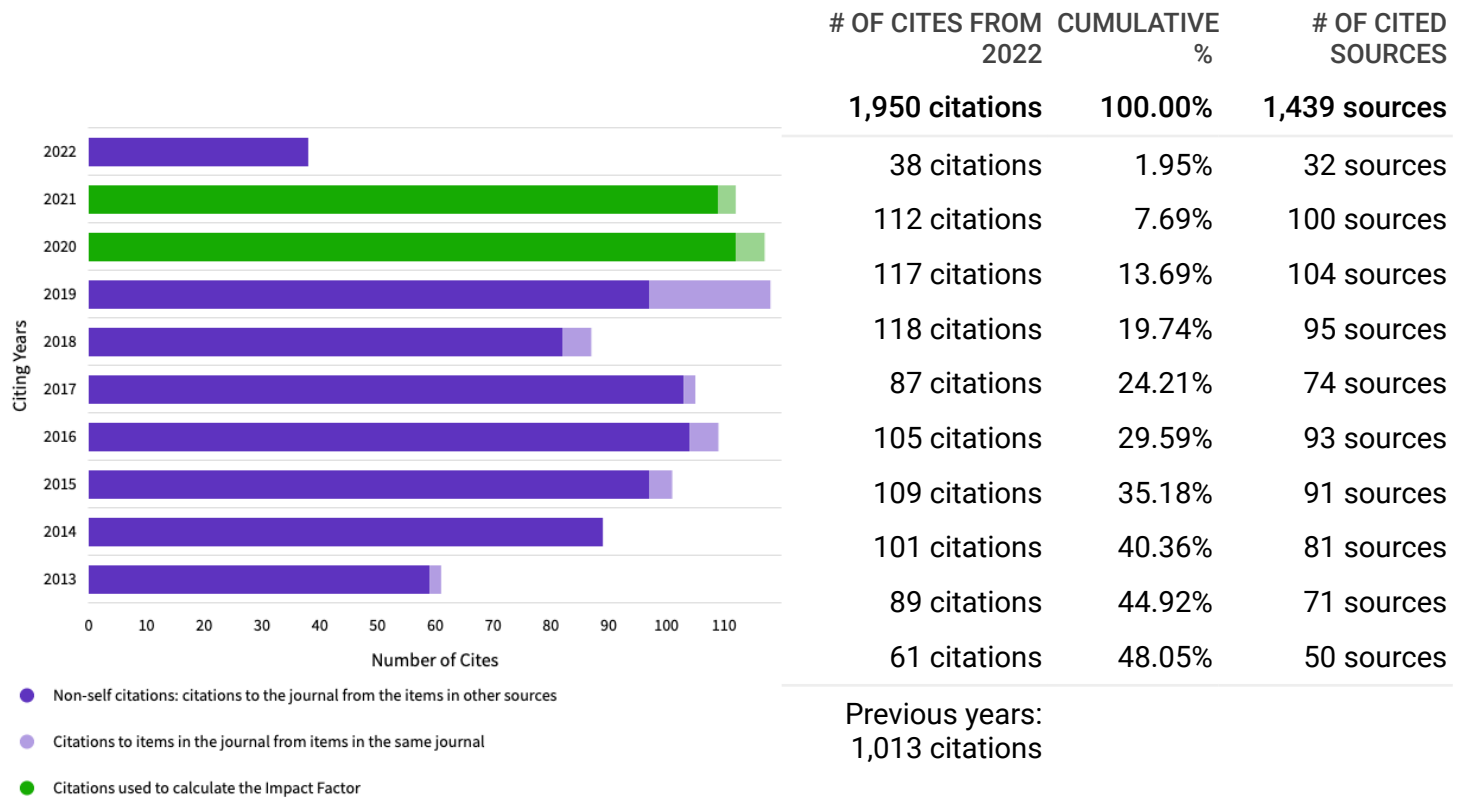
10.5 years

The Citing Half-Life is the median age of items in other publications cited by this journal in the JCR year.

TOTAL NUMBER OF CITES
1,950

NON-SELF CITATIONS
1,889

SELF CITATIONS
61



Cited titles in all years

Curator-The Museum Journal

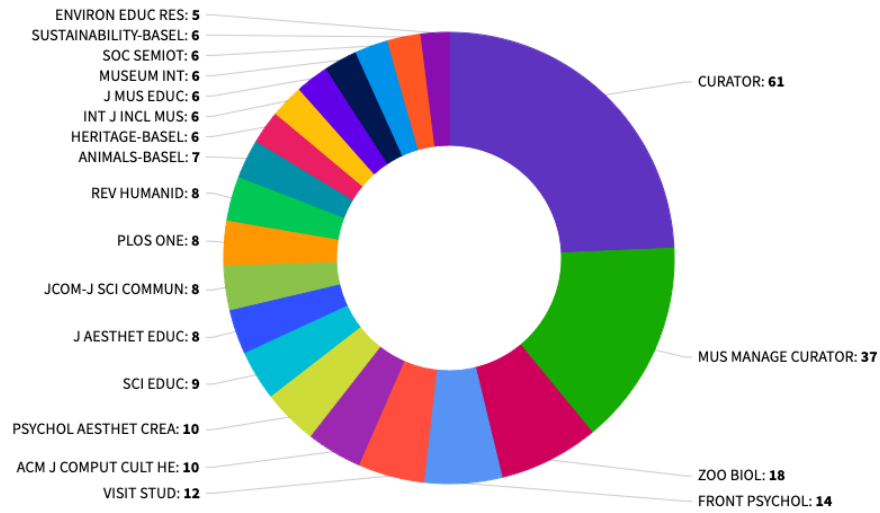
| | SOURCE NAME | COUNT |
|----|---|-------|
| | All Others | 1,194 |
| 1 | Curator-The Museum Journal | 61 |
| 2 | SCIENCE EDUCATION | 19 |
| 3 | International Journal of Heritage Studies | 18 |
| 4 | Museum Management and Curatorship | 17 |
| 5 | Journal of Museum Education | 16 |
| 6 | JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING | 9 |
| 7 | SCIENCE | 9 |
| 8 | POPULAR MUSIC AND SOCIETY | 8 |
| 9 | JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE | 7 |
| 10 | AMERICAN JOURNAL OF OCCUPATIONAL THERAPY | 6 |
| 11 | MUSEUM INTERNATIONAL | 6 |
| 12 | SOUTH AFRICAN JOURNAL OF SCIENCE | 6 |
| 13 | BIOSCIENCE | 5 |
| 14 | EDUCATIONAL PSYCHOLOGIST | 5 |
| 15 | INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION | 5 |
| 16 | PLoS One | 5 |
| 17 | AMERICAN QUARTERLY | 4 |
| 18 | Cultural Studies of Science Education | 4 |
| 19 | INTERNATIONAL JOURNAL OF ART & DESIGN EDUCATION | 4 |
| 20 | JOURNAL OF ARCHAEOLOGICAL SCIENCE | 4 |

Showing 1 - 20 rows of 103 total (use export in the relevant section to download the full table)

Journal Citation Relationships

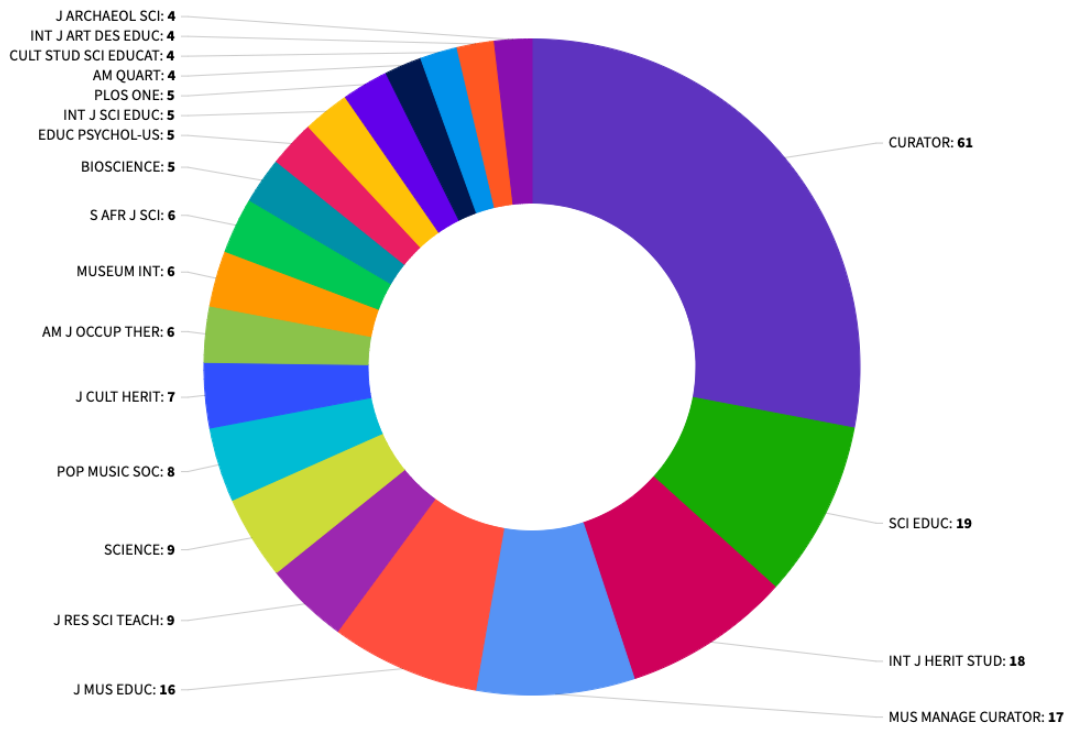
Cited Data

Top 20 journals citing CURATOR by number of citations



Citing Data

Top 20 journals cited by CURATOR by number of citations



Content metrics

Source data









This tile shows the breakdown of document types published by the journal. Citable Items are Articles and Reviews. For the purposes of calculating JIF, a JCR year considers the publications of that journal in the two prior years. [Learn more](#)

48 total citable items

| | ARTICLES | REVIEWS | COMBINED (C) | OTHER DOCUMENT TYPES (O) | PERCENTAGE |
|-----------------------------|----------|---------|--------------|--------------------------|------------|
| NUMBER IN JCR YEAR 2022 (A) | 47 | 1 | 48 | 17 | 74% |
| NUMBER OF REFERENCES (B) | 1,876 | 9 | 1,885 | 65 | 97% |
| RATIO (B/A) | 39.9 | 9.0 | 39.3 | 3.8 | |

Contributions by Organizations









Organizations that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period. [Learn more](#)

| RANK | ORGANIZATION | COUNT | |
|------|------------------------------------|-------|--|
| 1 | UNIVERSITY OF LONDON | 8 |  |
| 2 | UNIVERSITY COLLEGE LONDON | 7 |  |
| 3 | AMER PSYCHOL ASSOC | 6 |  |
| - | SMITHSONIAN INSTITUTION | 6 |  |
| 5 | STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA | 5 |  |
| - | UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM | 5 |  |
| - | UNIVERSITY OF CAPE TOWN | 5 |  |
| - | UNIVERSITY OF WITWATERSRAND | 5 |  |

Showing 1 - 8 rows of 253 total (use export in the relevant section to download the full table)

Contributions by country/region

Countries or Regions that have contributed the most papers to the journal in the most recent three-year period. [Learn more](#)

| RANK | COUNTRY/REGION | COUNT | |
|------|----------------|-------|--|
| 1 | USA | 76 |  |
| 2 | England | 20 |  |
| 3 | South Africa | 13 |  |
| 4 | Australia | 12 |  |
| 5 | Spain | 8 |  |
| 6 | CHINA MAINLAND | 6 |  |
| 7 | Brazil | 5 |  |
| - | Canada | 5 |  |

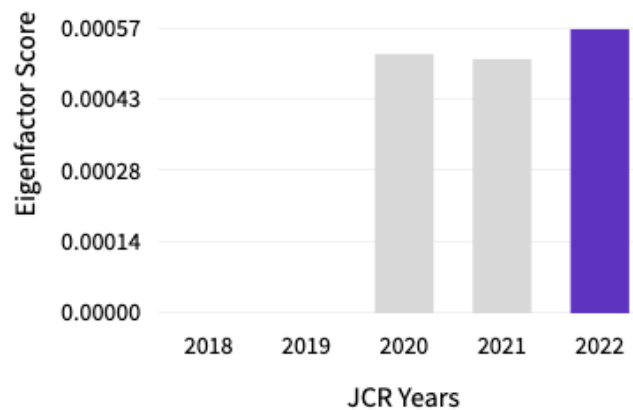
Showing 1 - 8 rows of 43 total (use export in the relevant section to download the full table)

Additional metrics

Eigenfactor score

0.00057

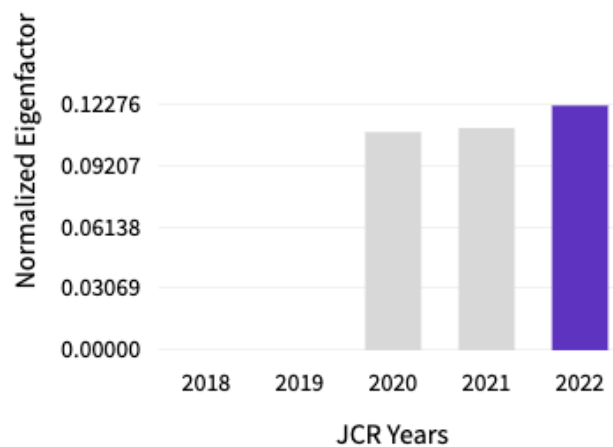
The Eigenfactor Score is a reflection of the density of the network of citations around the journal using 5 years of cited content as cited by the Current Year. It considers both the number of citations and the source of those citations, so that highly cited sources will influence the network more than less cited sources. The Eigenfactor calculation does not include journal self-citations. [Learn more](#)



Normalized Eigenfactor

0.12276

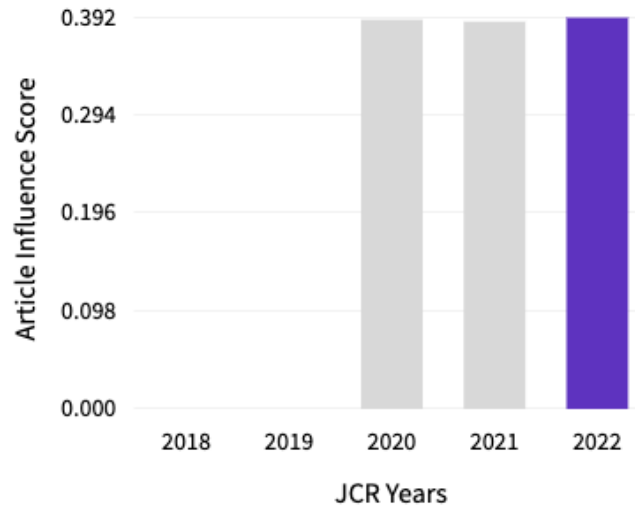
The Normalized Eigenfactor Score is the Eigenfactor score normalized, by rescaling the total number of journals in the JCR each year, so that the average journal has a score of 1. Journals can then be compared and influence measured by their score relative to 1. [Learn more](#)



Article influence score

0.392

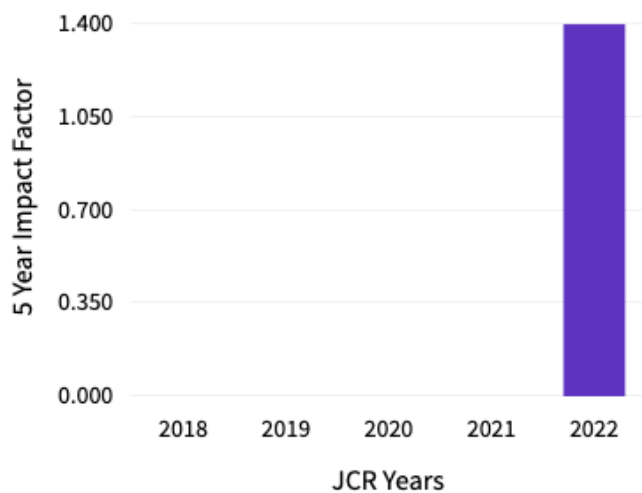
The Article Influence Score normalizes the Eigenfactor Score according to the cumulative size of the cited journal across the prior five years. The mean Article Influence Score for each article is 1.00. A score greater than 1.00 indicates that each article in the journal has above-average influence. [Learn more](#)



5 year Impact Factor

1.4

The 5-year Impact Factor is the average number of times articles from the journal published in the past five years have been cited in the JCR year. It is calculated by dividing the number of citations in the JCR year by the total number of articles published in the five previous years.



5 year Impact Factor calculation

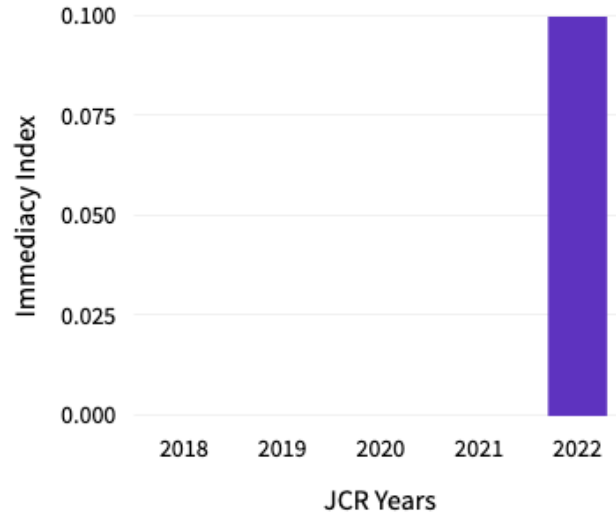
| | | | | |
|--|---|-----|---|-----|
| Citations in 2022 to items published in [2017-2021] (229) | = | 229 | = | 1.4 |
| Number of citable items in [2017-2021] (165) | | 165 | | |

Immediacy Index

0.1

The Immediacy Index is the count of citations in the current year to the journal that reference content in this same year. Journals that have a consistently high Immediacy Index attract citations rapidly.

[Learn more](#)



Immediacy Index calculation

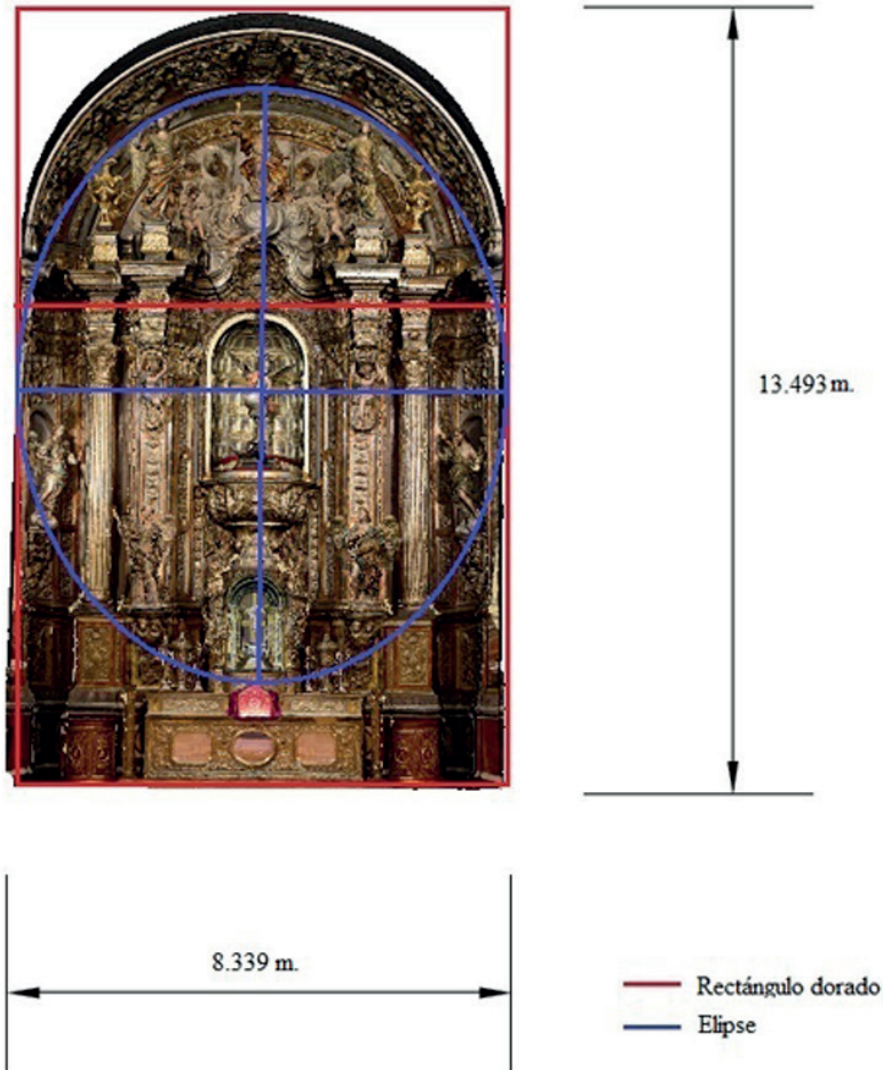
| | | |
|--|----|--------------|
| Cites in 2022 to items published in 2022 | 6 | |
| <hr/> | | 6 / 48 = 0.1 |
| Number of items published in 2022 | 48 | |

ANEXO 2. COPIA COMPLETA DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS.

PUBLICACIONES FUERA DEL
COMPENDIO

Documentación, conservación y difusión de un retablo a través de la Geomática: el retablo barroco de la Iglesia de San Miguel en Murcia

Recording, conservation and dissemination through geomatics: the baroque altarpiece of San Miguel church in Murcia



67

Concepción Peña-Velasco

Catedrática de Historia del Arte de la Universidad de Murcia

Josefina García-León

Profesora Titular de la Universidad Politécnica de Cartagena

Paloma Sánchez Allegue

Becaria de investigación de la Universidad Politécnica de Cartagena

Resumen

El conocimiento científico de los retablos es fundamental para poder acometer mejor su conservación y es importante darle una correcta difusión. Por ello, el objetivo de este estudio es realizar y dar a conocer el levantamiento gráfico tridimensional del retablo barroco de la Iglesia de San Miguel de Murcia con calidad métrica, reflexionar a partir de él sobre los procesos de creación artística y difundir la información a través de la utilización de plataformas informáticas libres, garantizando el acceso a los valores patrimoniales.

Palabras clave: Patrimonio Cultural. Geomática. Retablo barroco español. Salzillo. Iglesia de San Miguel. Murcia.

Abstract

Scientific knowledge of altarpieces is essential to ensure their conservation. It is also important to make this knowledge widely available. The aim of this paper is to make a 3D mapping of the baroque altarpiece of San Miguel Church in Murcia and to make the data available through free access digital platforms. This allows us to delve into the process of artistic creation and guarantees the spread of consistent and accurate information.

Keywords: Cultural Heritage. Geomatics. Spanish baroque altarpiece. Salzillo. St. Miguel Church. Murcia.



Concepción de la Peña Velasco

Catedrática de Historia del Arte de la Universidad de Murcia y académica de número en la Real Academia Alfonso X el Sabio. Sus líneas de investigación se han centrado en la Edad Moderna, habiendo publicado diversos libros y artículos. Ha organizado cursos y jornadas sobre Patrimonio, Museos y Barroco. Ha formado parte del equipo científico de varias exposiciones y ha sido una de las comisarias de El Belén de Salzillo en el Centro Cibeles. Realizó el proyecto museográfico del nuevo Museo de la Catedral de Murcia. Actualmente coordina Editum Artes.

Contacto: velasco@um.es



Josefina García León

Doctora Ingeniera en Geodesia y Cartografía, autora de varios libros de cartografía, topografía y sistemas de información geográfica, autora de artículos de investigación en revistas indexadas, ponente en congresos internacionales, investigadora en proyectos de investigación financiados, investigadora responsable del grupo de investigación “Thermal Analysis and Geomatics” (TAG) del Departamento de arquitectura y tecnología de la edificación y Titular de Universidad de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación en la Universidad Politécnica de Cartagena. En gestión ha desempeñado los cargos de Secretaria de Escuela, Directora de Departamento, Delegada del Rector para Campus de Excelencia Mare Nostrum, Responsable de Igualdad, Vicerrectora de Ordenación Académica y Vicerrectora de Convergencia y Calidad.

Contacto: josefina.leon@upct.es



Paloma Sánchez Allegue

Ingeniera de Edificación. Investigadora de la Universidad Politécnica de Cartagena. Máster de Patrimonio Arquitectónico por la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Máster de Gestión en la Edificación por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y Graduada en Ingeniería de la Edificación por la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) y becaria de investigación de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Su trayectoria profesional viene desarrollándose en ámbitos como la investigación de los modelos tridimensionales a partir de técnicas de fotogrametría digital y escáner láser, y la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Coautora de varias publicaciones relacionadas con la utilización de los SIG para la puesta en valor de patrimonio modernista y minero de la Región de Murcia.

Contacto: psallegue@gmail.com

1.- Planteamiento

Los datos que proporcionan la fotogrametría y el láser escáner son esenciales para la documentación del patrimonio y las piezas artísticas (Yastikli, 2007). De ese modo, se pueden analizar otros aspectos que, por los procedimientos tradicionales, es más difícil obtener. Si bien, todavía quedan por plantear nuevas líneas de investigación surgidas a partir de la información que estas aplicaciones facilitan y que aportan nuevos enfoques de análisis. En el ámbito del retablo, la Geomática ha sido usada, generalmente, para acciones de conservación, restauración y restituciones fotogramétricas (Dávila, 2014; Cantos Martínez *et al.*, 2009; Tabares Esteban *et al.*, 1999). No obstante, estas arquitecturas doradas ofrecen posibilidades inagotables de estudio, algunas de las cuales se explorarán en este trabajo sobre el retablo mayor barroco de San Miguel Arcángel de Murcia, situado en una de las parroquias más antiguas de la ciudad, declarada Bien de Interés Cultural en 2009 (Decreto 83, de 30/04 del Consejo de Gobierno de la CARM; BORM, 99, 2/05/2009, 7220; nº inv. 30174), con incoación en 1982 de expediente como monumento histórico-artístico (BOE, 298, 13/12/1982, 33852). La obra sintetiza valores del patrimonio material e inmaterial, como sucede especialmente con los retablos emplazados en el altar mayor, que suelen ser los más significativos. En consecuencia, conviene indagar y reflexionar sobre los aspectos que contribuyen a una comprensión más certera de los mismos, poniendo el conocimiento al servicio del ciudadano.

El objetivo de este estudio es obtener y difundir la documentación gráfica del retablo mayor de la parroquia de San Miguel de Murcia y, con los datos que tales imágenes proveen, analizar métricamente dicho retablo y ahondar en cuestiones relacionadas con la proporción y la creación artística. Para conseguirlo, se utilizarán diferentes tecnologías geomáticas, en concreto la fotogrametría, el láser escáner y los sistemas de información geográfica. Finalmente se procurará la difusión del modelo tridimensional en una plataforma en la web, para que, de un modo fácil e interactivo y desde cualquier ordenador o dispositivo móvil, se visualice el modelo generado virtualmente y se tenga acceso a la información histórica y artística asociada (<<https://skfb.ly/6tMrU>>).

72

2.- El retablo mayor de San Miguel y la devoción al arcángel

El retablo mayor de San Miguel de Murcia es una obra de madera que fue construida en el segundo tercio del siglo XVIII por el tallista Jacinto Perales (Orihuela, 1697–c. 1738), para un templo de nueva planta, bendecido en 1712. Este último fue erigido sobre una iglesia anterior, que se vio muy afectada por la riada de San Calixto en 1651. El conjunto escultórico principal lo hizo Francisco Salzillo (Murcia, 1707–1783), salvo la imagen de *San Miguel* que había ejecutado antes su padre, el napolitano Nicolás Salzillo (Capua, 1672–Murcia, 1727) en 1708–1709 (Sánchez–Rojas Fenoll, 1977–1978: 255–296; Di Liddo, 2008: 344). En un contexto de impulso devocional a San Miguel como vencedor del mal, reavivado en la Contrarreforma con un planteamiento ideológico y con expresiones de fervor de papas y monarcas católicos y particularmente de la corona española (Mâle, 2001: 279 y ss; García Mahiques (dir.), 2016), el Concejo y el cabildo catedralicio murcianos hicieron voto de acudir en procesión anualmente a la parroquia a la festividad del arcángel. La imagen fue sacado en rogativa con motivo de epidemias de peste y por otras causas (Peña–Velasco, 2012: 336).

Tipológicamente, el retablo se estructura a modo de hornacina con un cuerpo de tres calles, con la central más amplia que las laterales, y un ático que cierra en arco, acomodándose a las dimensiones del testero de la iglesia. Tiene un destacado tabernáculo con soportes antropomorfos y puertas giratorias que acogen seis relieves con escenas del Antiguo y Nuevo Testamento y culmina con el cordero sobre el libro de los siete sellos. El retablo se efectuó según proyecto de Perales, cuyo reconocimiento venía avalado por diferentes encargos en localidades del sur del antiguo Reino de Valencia como Orihuela, Guardamar y otras y antes como discípulo de Juan Francisco Borja en Alicante (Vidal Bernabé, 1990; Sáez Vidal, 1998: 129–145). Perales realizó simultáneamente el retablo mayor de San Antón de Murcia, que contrató en 1730 junto a Nicolás de Rueda (Murcia, 1706–1767) y Francisco Salzillo, ambos oriundos de la ciudad y sobre una década más jóvenes que él. El 14 de octubre de 1731, cuando llevaban hecho un tercio del trabajo en San Miguel, el tallista de Orihuela se obligó ante notario a concluirlo (Sánchez Moreno, 1945: 87-88). Se modificó entonces el diseño, ampliando el camarín e incorporando dos imágenes más de las previstas inicialmente. La estructura en madera es obra destacada por su arquitectura y por su acabado, con riqueza de detalles y repertorio ornamental que incorpora atributos relacionados con el relato bélico de San Miguel y su lucha contra los ángeles rebeldes.

Francisco Salzillo realizó los seis arcángeles y la *Fe*, con un programa iconográfico de manifestación hierofánica en el que cabe destacar la influencia jesuítica. El colegio de esta orden en Murcia –actual sede de la Ppresidencia de la Comunidad Autónoma–, en cuyas clases estudió el escultor, se situaba a escasos metros de la parroquia. Precisamente sería un murciano y miembro de la Compañía de Jesús llamado Andrés Serrano (1655–1711), catedrático de Teología en Manila, quien escribió a finales del siglo XVII uno de los libros más difundidos y reeditados sobre los siete arcángeles. Además, Salzillo diseñó una custodia con un ángel en el astil a la manera de los del retablo, que hizo el platero José Jiménez Cisneros (Sánchez Moreno, 1945: 80-81; Pérez Sánchez, 2013). El retablo se doró en los años cuarenta de ese siglo bajo las indicaciones de Salzillo y con protestas de los doradores por el procedimiento seguido en la asignación directa del trabajo y no por subasta pública (Peña–Velasco, 2012: 247-343). En cuanto al acabado, constituye la etapa final en el uso del color, como aquí se presenta combinado con oro, que se impondrá en los años siguientes en toda la arquitectura en madera.

Las primeras biografías sobre Francisco Salzillo ya le asignaron las esculturas, caso de coetáneos como el matemático Luis Santiago Bado o el académico Rejón de Silva –traductor de tratados de Leonardo, Alberti y Winckelmann– (Martínez Ripoll, 2006: 45; Martínez Cerezo, 2014; García López, 2015: 149) y, más adelante, Ceán Bermúdez (1800, VI: 25-32, 287). Sánchez Moreno (1945: 87-88) documentó la autoría de Jacinto Perales en la parte arquitectónica y diversos estudios han resaltado su relevancia (Martín González, 1993: 204; Belda Navarro, 2001: 109; Peña–Velasco, 1992: 280-286 y 2012: 381–412; Ramallo Asensio, 2007: 148-150).

3.- Elección de la obra: conocer y documentar mejor, conservar y difundir

Varios motivos han inducido a elegir esta pieza como objeto de estudio. Por un lado, el mejor conocimiento y difusión de un bien protegido y de un hito patrimonial en Murcia.

La iglesia de San Miguel está declarada Bien de Interés Cultural y su retablo mayor es una aportación singular a la historia del retablo barroco en el sureste peninsular español y a la trayectoria del escultor Francisco Salzillo, quien forma parte del imaginario cultural de la ciudad y su producción es un elemento identitario. El retablo constituye un conjunto artístico notable por su arquitectura, por la escultura y por su iconografía, con la presencia de los siete arcángeles y la alegoría de la *Fe*, excepcional en la producción de Salzillo, centrada en imágenes devocionales. Tipológicamente supone un punto de inflexión en la historia del retablo en la Diócesis de Cartagena, que abandona la columna salomónica e impone el cuerpo único con potente calle central y ático con gran protagonismo (Peña–Velasco, 1992: 96; Belda Navarro, 2001: 109). El retablo sirvió de modelo a otros, en su conjunto –caso del presbiterio de la parroquia de Abanilla– y en los detalles de su arquitectura. Integra el mayor grupo de esculturas en un retablo salidas de mano de Francisco Salzillo. Si bien, este artista proporcionó mayores dimensiones y envergadura a la imagen del titular en los retablos en los que participó. En este caso el autor de *San Miguel* fue Nicolás Salzillo. Esta obra no habría tenido ese tamaño de haber sido realizada al unísono que la estructura arquitectónica de madera y no con anterioridad, cuando prevalecía una articulación más compartimentada y con superposición de cuerpos.

Un patrimonio eclesiástico como el aquí estudiado es visitable en horario restringido, al depender del culto religioso, más allá de la obligación que tiene el titular sobre los derechos del bien de permitir la visita pública al menos cuatro días al mes, en días y horas que se señalen, tal y como determina la Ley de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia de 2007. Si, como ha analizado Domingo Angulo (2017), en los museos eclesiásticos no siempre es óptima la difusión y comunicación expositiva, mucho más complicado es proporcionar información sobre obras inventariadas, catalogadas y protegidas que no están en tales ámbitos. Conocer qué hay es absolutamente necesario para poder proteger los bienes culturales y, facilitando la información histórica y artística necesarias, cabe programar visitas de estudiantes, turistas o interesados y establecer itinerarios. De modo que se puede poner, además, el enlace a la plataforma que contiene el modelo tridimensional y otros datos en las páginas web del Museo Salzillo, del Museo de la Catedral de Murcia y del Conjunto Monumental de San Juan de Dios, que poseen imágenes del famoso escultor barroco, además de la perteneciente a la parroquia de San Miguel y en otras como Murcia Turística. A partir de ello cabe articular recorridos teniendo a Salzillo como referente, bien para contemplar retablos mayores y tabernáculos en otros templos donde él participó que están muy cercanos a San Miguel –como los del convento de dominicas o del Real Monasterio de clarisas, entre otros–, o bien a imágenes de devoción, pasos procesionales y el belén. Todo ello se conserva en un entorno próximo de museos y templos, incluso hay otras esculturas suyas en San Miguel.

Por otro lado, al elegir este ejemplo se consideró la aplicabilidad a otros casos. Se seleccionó una obra cuya metodología de estudio y resultados sirvieran para abordar otros retablos, considerando la importancia que estos poseen y la tradición del trabajo con la madera policromada en el contexto de los territorios de las Monarquías Ibéricas en la Edad Moderna y el diálogo cultural que su realización conlleva. Un retablo mayor siempre es obra a considerar. Atrae las miradas y constituye el escenario donde se desarrolla el ritual religioso. Adquiere todo su esplendor durante la liturgia y propicia vivencias y sensaciones cambiantes.

Es un reclamo para los sentidos, al mostrarse con iluminaciones que varían según la hora del día y, en el pasado, con la luz de las velas –cuyo número estaba regulado dependiendo del altar y la ocasión–, con el brillo de los dorados y la percepción de la policromía, con el olor a incienso y flores, con el sonido de voces y música y con la variación del color de los ornamentos litúrgicos y otros aspectos que difieren, según la festividad y solemnidades del año cristiano. En el Antiguo Régimen y en un amplísimo ámbito territorial, hubo modos de proceder comunes, asentados y transmitidos en los talleres y regulados por acuerdos, ordenanzas gremiales y leyes generales, con la idiosincrasia que cada lugar ofrecía, por la riqueza de sus especies arbóreas y variación del tipo de madera utilizado, por los modelos vigentes, por las técnicas particulares empleadas, por los sustratos culturales, por los diferentes mestizajes artísticos y por razones de variada índole. El retablo supone uno de los encargos que exige mayor intercambio de ideas entre profesionales diversos. Concurren los comitentes con sus demandas y requiere la intervención de artífices de distintas disciplinas, que proporcionan el material y lo trabajan, desde su inicio con el diseño hasta su conclusión con el dorado.

La significación de un retablo mayor es esencial y, en consecuencia, conocerlo y estudiarlo mejor –y la Geomática contribuye a ello– es importante por sí mismo y para determinar posibles actuaciones de diferente índole sobre él. Portada y retablo mayor, como principio y final del recorrido sacro, constituyen dos focos principales de atención y atracción visual. Cualquier retablo mayor es un elemento fundamental y este también lo es. Por un lado, debe acomodarse a la arquitectura del templo que lo acoge y, a su vez, provee la pauta estilística de otros retablos que están próximos y han de armonizar con él [Ilustración 1], especialmente los colaterales y del crucero. El artista que lo proyecta es consciente de que adorna y dota de magnificencia el presbiterio, al proporcionar el escenario donde se desarrolla la liturgia, un sitial que ampara imágenes a las que se da culto y que manifiesta el programa iconográfico desarrollado.

75



Ilustración 1. Cabecera de la Iglesia de San Miguel de Murcia con el retablo mayor y colaterales (Fuente: Elaboración propia).

Al realizar la documentación gráfica de este retablo se ha considerado la arquitectura del templo que lo cobija, midiendo y estudiando las proporciones de la misma. Se ha acotado la parte escultórica, obteniendo las dimensiones y comparando las imágenes que lo componen, destacando el pequeño tamaño de la escultura principal. Posteriormente se ha modelado tridimensionalmente todo el retablo para conseguir un mayor conocimiento de la obra y para ponerla a disposición del usuario a través de la web. La idea es proseguir con la toma de datos en otros retablos barrocos en la ciudad de Murcia y en otras localidades y constituir un corpus significativo de imágenes fotogramétricas en la zona. Se facilitaría, así, el acercamiento a un panorama más amplio sobre el retablo, con nuevos datos para estudio y difusión del interesante legado existente. Considerando, además, la pérdida experimentada en el transcurso del tiempo, pues de los retablos construidos en el Antiguo Reino de Murcia entre 1670 y 1785, se conservan menos de la mitad por razones diversas y dada la vulnerabilidad que presenta este patrimonio en madera, material por excelencia en el retablo hispánico. Su utilización fue prohibida por Carlos III en 1777, reiterándolo Carlos IV en 1791 debido al riesgo de incendios (Martín González, 1988), a los cambios estilísticos que estaban aconteciendo y al rumbo marcado por las academias de Bellas Artes que entonces se crearon. Se intentó propiciar el uso de estuco y acabados imitando jaspes y bronces, pero no terminaron de arraigar. La madera constituye un material sensible e inflamable, máxime considerando que los templos tienen culto y los retablos están en uso y con los peligros del cableado eléctrico, la utilización de velas en ceremonias religiosas y otros factores. Además del ataque que pueden experimentar de xilófagos, con unas condiciones ambientales proclives, por presentar la ciudad de Murcia una humedad relativa media elevada y con acusadas oscilaciones térmicas.

El estudio realizado permite una documentación métrica y gráfica del retablo, por lo que permitiría la conservación del mismo o su restitución en caso de deterioro o destrucción del bien patrimonial. Murcia constituye una de las comunidades autónomas de España con mayor riesgo de terremotos (González García, 2009: 14, 23) y, antaño, de inundaciones. En consecuencia, conviene recopilar la mayor información posible sobre su patrimonio. A las contingencias por desastres naturales se unen los peligros antrópicos, accidentales o deliberados. *El Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos*, aprobado en 2014, se agilizó en gran medida por la situación originada en Lorca (Murcia) tras los movimientos sísmicos acontecidos en mayo de 2011. Las catástrofes naturales han castigado durante siglos el sureste español y, en particular, a la ciudad de Murcia. Los desbordamientos del río Segura, en la actualidad más controlados, afectaron continuamente a su núcleo urbano, sus edificios y habitantes. El templo de *San Miguel* quedó seriamente dañado por la riada de 1651 y se volvió a edificar a finales del siglo XVII, concluyendo a principios del siglo XVIII. Dos siglos después, el 22 de Abril de 1864 la torre se desplomó sobre el presbiterio, crucero y sacristía afectando seriamente al retablo, acometiéndose entonces una destacada intervención sobre él (Fuentes y Ponte, 2005 [1880–1884], parte I: 84, parte V: 82-84). Por tanto, es fundamental contar con la documentación completa del objeto patrimonial.

4.- Metodología de estudio

Con las nuevas tecnologías, la utilización y elección del método más adecuado para llevar a cabo estudios de investigación es fundamental y, como puede verse en este caso, diferentes metodologías son perfectamente compatibles y hasta recomendables para mejorar la precisión. De hecho la integración de la fotogrametría digital y el láser escáner

terrestre proporcionan las mejores soluciones para obtener información tridimensional del patrimonio (Buill *et al.*, 2013; Murphy *et al.*, 2013; Pavlidis *et al.*, 2007).

El flujo de trabajo del láser escáner se divide principalmente en dos fases: la de toma de datos y la de postproceso de dichos datos en función del objetivo perseguido (Cheng, 2012). En nuestro caso, ha consistido en la localización y observación del lugar y objeto a documentar, la adquisición de datos 3D mediante la medición láser y fotogrametría con medidas por topografía clásica, y las operaciones de modelado tridimensional con textura realista a partir de las imágenes realizadas, transformación de los datos, aplicaciones en modelos tridimensionales, segmentación manual del modelo y selección de la información histórica y artística para, finalmente, realizar la divulgación a través de la web de dicho modelo.

La toma de datos *in situ* se realizó en septiembre de 2016 con la multiestación Leica Nova MS50, con cuatro estaciones vinculadas mediante topografía clásica, obteniendo una nube de puntos con una densidad de 1cm en el retablo. En total fueron grabados 2,6 millones de puntos, que han sido volcados en el software Infinity y depurados en el mismo. Asimismo, se realizaron fotografías con la cámara integrada en el escáner laser y también se realizó una toma de datos fotográfica con una cámara réflex Canon EOS 1100D, en marzo y septiembre de 2017, con un objetivo de 18-55 mm sobre trípode. Con una calibración de la misma. Se utilizó el formato RAW para realizar el ajuste del balance de blancos con la carta de color Xrite ColorChecker, que permitiera una reproducción óptima, ya fueron estas las que se utilizaron para darle la textura al modelo.

El flujo de trabajo del láser escáner se divide principalmente en dos fases: la de toma de datos y la de postproceso de dichos datos en función del objetivo perseguido (Cheng, 2012). En nuestro caso, ha consistido en la localización y observación del lugar y objeto a documentar, la adquisición de datos 3D mediante la medición láser y fotogrametría con medidas por topografía clásica, y las operaciones de modelado tridimensional con textura realista a partir de las imágenes realizadas, transformación de los datos, aplicaciones en modelos tridimensionales, segmentación manual del modelo y selección de la información histórica y artística para, finalmente, realizar la divulgación a través de la web de dicho modelo.

La toma de datos *in situ* se realizó en septiembre de 2016 con la multiestación Leica Nova MS50, con cuatro estaciones vinculadas mediante topografía clásica, obteniendo una nube de puntos con una densidad de 1cm en el retablo. En total fueron grabados 2,6 millones de puntos, que han sido volcados en el software Infinity y depurados en el mismo. Asimismo, se realizaron fotografías con la cámara integrada en el escáner laser y también se realizó una toma de datos fotográfica con una cámara réflex Canon EOS 1100D, en marzo y septiembre de 2017, con un objetivo de 18-55 mm sobre trípode. Con una calibración de la misma. Se utilizó el formato RAW para realizar el ajuste del balance de blancos con la carta de color Xrite ColorChecker, que permitiera una reproducción óptima, ya fueron estas las que se utilizaron para darle la textura al modelo.

La fase de postproceso comienza con el depurado de la nube de puntos. Posteriormente se procedió a crear una malla de triángulos usando el programa 3DReshaper, generando más de un millón de triángulos para generar el retablo. Se rellenaron los huecos donde no existía información para el cerrado de la malla manualmente y se realizó un suavizado para eliminar ruido. Asimismo, se realizó una segmentación de las figuras escultóricas del retablo con el objetivo de trabajar individualmente con ellas, extraerlas para contemplar el retablo solamente con la parte arquitectónica. Finalmente se procedió a texturizarlo con las imágenes tomadas con la cámara fotográfica, después de haber sido correctamente calibrada. Aun así, las sombras no quedan completamente cubiertas, por lo que se han completado los vacíos de las texturas de zonas ocultas mediante el programa Photoshop.



Ilustración 2. Nube de puntos, malla de triángulos y textura del cuerpo principal del retablo de San Miguel de Murcia (de izquierda a derecha) (Fuente: Elaboración propia).

Una vez finalizado el modelo con su textura se ha seleccionado la información histórica y artística a adjuntar a los distintos elementos segmentados, realizando un sistema de información geográfica del retablo que ayude a su conocimiento y divulgación utilizando un visualizador libre web como es Sketchfab, plataforma utilizada por prestigiosos museos e instituciones como medio divulgativo de sus fondos (Cabezos y Rossi, 2017).

5.- Estudio y análisis de los resultados

Tras los trabajos efectuados se hacen las siguientes reflexiones, considerando los datos históricos, artísticos y geomáticos generados:

- Se ha obtenido una información muy completa y fiable sobre lo que hay, sus dimensiones y profundidad. Resulta útil conocer con precisión los datos sobre cada pieza que el retablo alberga para su documentación gráfica, estudio, posible traslado, conservación preventiva, restauración, reposición de algún elemento o reconstrucciones en caso de catástrofes u otras contingencias, dado que se posee un conocimiento certero de su estado en el momento de la toma de datos. Disponer de información rigurosa conlleva seguridad ante cualquier actuación requerida: montar un andamio, bajar piezas, estimar cómo quedarían en otro lugar –por sus dimensiones, siluetas y relación con otras obras–, restaurarlas o hacer un presupuesto con mayores garantías, entre otras cosas. En exposiciones temporales surgen problemas en el montaje derivados de errores en las dimensiones. Retablos barrocos desaparecidos se han rehecho a partir de fotografías antiguas y de la parte que persistía, caso del perteneciente a la Capilla del Rosario en Lorca, erigido de nuevo en los años noventa del siglo XX por el tallista Antonio Morales, salvo el ático que se conservaba.

Actualmente se trabaja en conocer el modelo del retablo de la Capilla del Cristo del Socorro de la Catedral antigua de Cartagena, destruido en la Guerra Civil. De haber dispuesto de imágenes fotogramétricas o de una completa documentación gráfica, se podría haber actuado con datos fiables; ejemplos de ello pueden ser la reconstrucción de edificios de Berlín a través de las imágenes del archivo de Meydenbauer (Wiedemann *et al.*, 2000) o la del gran Buda de Bamiyan (Grün *et al.*, 2004). En caso de alteración, es posible saber a partir de la documentación qué se ha modificado y cómo quedaría si se eliminase alguna pieza, devolverle el aspecto primitivo o plantear la posible sustitución de un elemento por otro, siempre y cuando el tipo de intervención patrimonial se haga conforme a lo estipulado legalmente y cuente con la autorización pertinente.

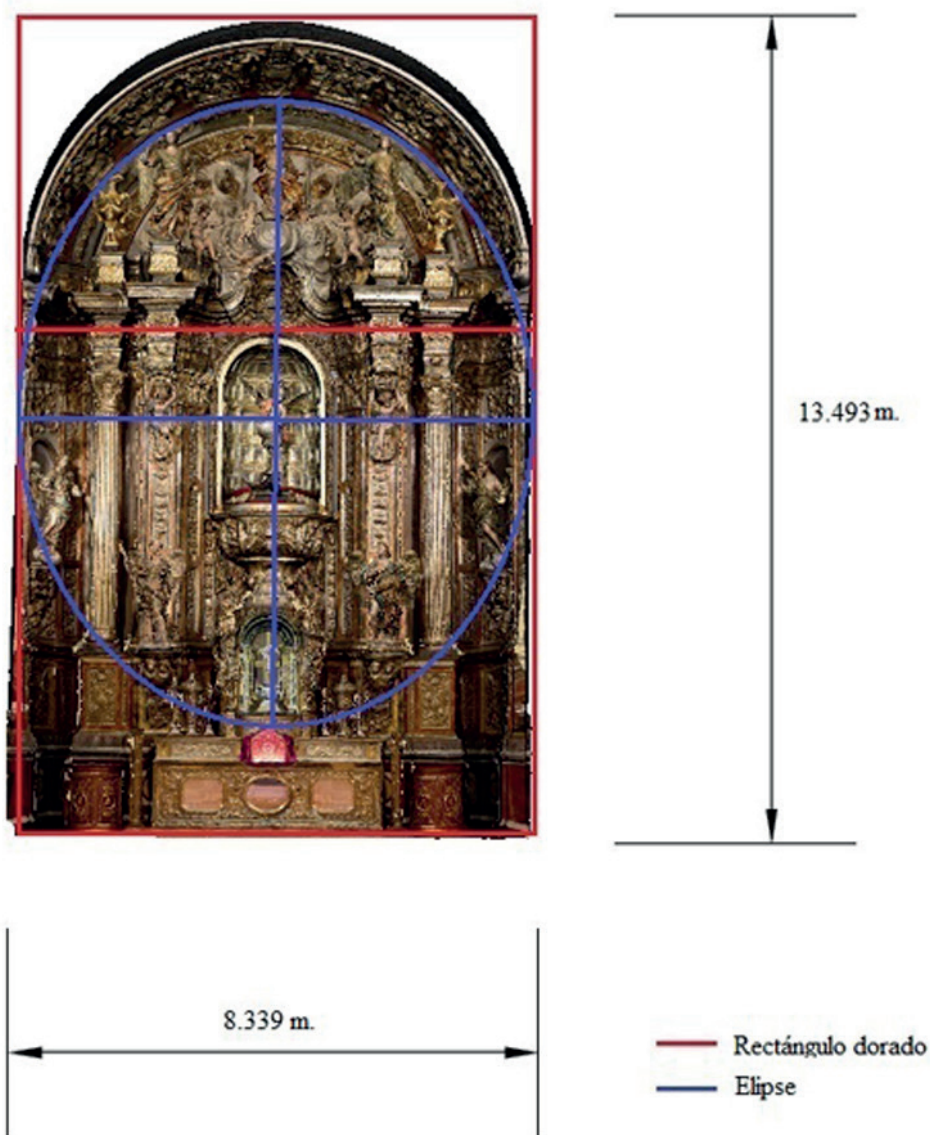
Ha parecido interesante realizar la separación entre los elementos arquitectónicos y los elementos escultóricos, para posteriormente poder continuar con el análisis de modo independiente.



Ilustración 3. Separación de la parte arquitectónica y escultórica del retablo de San Miguel de Murcia (Fuente: Elaboración propia).

A otra escala, podríamos tratar el motivo decorativo del jarrón en la parte superior, en la que se puso, probablemente, a finales del XIX, pues responde estilísticamente a la intervención de la que fue objeto el retablo entonces. Estas técnicas admiten eliminarlo y estimar su apariencia sin él. Además ha posibilitado un acercamiento a elementos que pasan desapercibidos en el conjunto y con la distancia. Hay capiteles y motivos de decoración que incorporan atributos eucarísticos y bélicos en relación a San Miguel, así como escenas relacionadas con la Eucaristía y otros elementos iconográficamente significativos. Se trabaja en ponerlos a disposición del público en un proceso con elaboración de fichas de elementos seleccionados, que podrían incluirse en el modelo generado.

- Se ha logrado un mejor conocimiento de la obra en su conjunto y en el detalle. Medido por primera vez con estas técnicas, sus proporciones se basan en el número áureo, con las connotaciones simbólicas que implican, especialmente en este caso. La medición precisa posibilita un estudio más riguroso sobre aspectos que en el pasado era más complicado aproximarse, como las relaciones composicionales entre la arquitectura y escultura y las proporciones de las partes entre sí y con el todo. El orden arquitectónico suele responder en sus opciones numéricas a lo establecido en unos tratados concretos. Con los datos disponibles, cabe aproximarse con mayor seguridad a ellos. Por una parte, generalmente el escultor hace las imágenes respetando ciertas proporciones en las medidas del cuerpo humano y se obliga a considerar las dimensiones acomodadas al sitio. Por otra, el rectángulo conformado considerando el testero del presbiterio, con el lado menor de 8,339 m. y el lado mayor de 13,414 m., responde al número de oro, con apenas 7 cm. de diferencia en el lado mayor que siguiendo la proporción debería ser de 13,493 m. Esta relación, proveniente de la sucesión de Fibonacci desarrollada por el matemático italiano Leonardo Pisano, se considera la relación más armoniosa.



80

Ilustración 4. Acotación de la proporción aurea y la elipse inscrita en el retablo de San Miguel de Murcia (Fuente: Elaboración propia).

Evidentemente que disponiendo de diferentes medidas no es complejo encontrarlo, pero se ha realizado a partir de puntos y secciones de composición significativos. El número de oro en esta obra podría tener un valor simbólico y sagrado particular. En este sentido cabe recordar que, en su libro *De Divina Proportione*, Pacioli asocia este número a Dios, por su unicidad, requerir de tres relaciones como la Trinidad, inconmensurabilidad, inmutabilidad y quinta esencia (Pacioli, 2008: 41–42). En su iconografía, este retablo es trasunto del cielo, con Cristo en el pan eucarístico y su corte de arcángeles capitaneada por *San Miguel* venciendo al demonio y ángeles atlantes y niños entreverados en las nubes. La virtud teologal de la Fe con los ojos vendados habla de creer en aquello que no se ve. Además, cabría dibujar una elipse partiendo de las principales líneas composicionales. Como siempre, en el eje de simetría se situaría el titular del templo, en este caso la escultura de *San Miguel*, sobre las que se articula todo el retablo. Los dos focos estarían uno sobre el tabernáculo que acoge la Eucaristía y otro en la alegoría de la *Fe*. Como señala Arnheim (2011: 102–104), en el Barroco se muestra la predilección por la composición elíptica con diálogo entre sus dos centros, frente al Renacimiento que opta por la perfección del círculo. Añade que la elipse vertical implica un simbolismo añadido de arriba y abajo: la Eucaristía como alimento espiritual está cercana al hombre y, más elevada, la *Fe*.

- Se han realizado las secciones que se consideran necesarias para completar aspectos de análisis relativos al alzado del retablo y a su variación, a partir del modelo obtenido. Se observa que las cuatro secciones obtenidas son diferentes entre sí, aunque es aspecto a seguir mejorando e investigando.

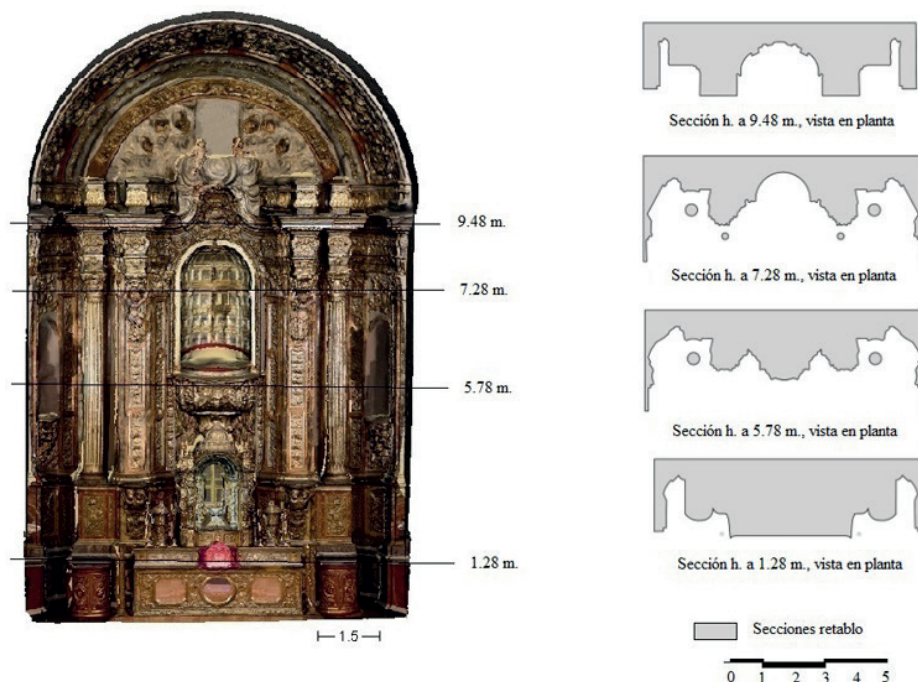


Ilustración 5. Diferentes secciones horizontales del retablo de San Miguel de Murcia (Fuente: Elaboración propia).

Desde finales del siglo XVII y muy especialmente en el XVIII, se produce un incremento de movimiento en la estructura arquitectónica de los retablos, que no es uniforme a lo largo de su recorrido vertical y es difícil cuantificarlo en toda su dimensión. El modelo generado permite hacerlo, al efectuar varios cortes y comprobar cómo cambia, especialmente la proyección del volado de la cornisa, realizado a una altura de 9,48 m. del modelo.

Tradicionalmente se ha venido analizando sólo la planta realizada mediante dibujo a nivel del suelo o bien utilizando la que figura en los escasos proyectos conservados que la incluyen. En la más baja, a una altura de 1,28 m. puede apreciarse la mesa de altar, que no es de la época. Se atiende, como en la mayoría de las situaciones, a lo estipulado en el Misal de Pablo VI, que significa la aplicación de los cambios litúrgicos auspiciados por el Concilio Vaticano II, clausurado en 1965.

El retablo presenta una estructura compleja y repleta de infinidad de aspectos a considerar y, en consecuencia, la toma de datos y su lectura también lo son. La riqueza de recovecos propia de ese momento del Barroco produce ocultaciones y zonas de difícil acceso y visibilidad, que se ven reflejadas en el modelo generado y como consecuencia en las secciones del mismo. Las áreas de oclusión siguen siendo un problema serio en los modelos generados con láser escáner (Fantini, 2012). Por ende, la utilización de estas técnicas no permite visualizar la parte posterior de las piezas y sería interesante utilizar complementariamente otra instrumentación como drones o sistemas de fotogrametría telescópico, como puede ser el 3Deye para poder fotografiar esos recovecos y mejorar los resultados. Las columnas están sin terminar en su cara no visible y algunos elementos ornamentales sin policromía. Además, hay puertas giratorias tanto en el camarín como en el tabernáculo, que ofrecen visiones diferentes del retablo y que solamente se abren en concretas ocasiones por culto o festividad.

- *Se han planteado relecturas relacionadas con el proceso de creación artística.* Las imágenes obtenidas permiten reflexionar sobre la creación en los comienzos de la carrera de Francisco Salzillo. El escultor mantuvo siempre una fructífera colaboración con maestros de otras profesiones y, especialmente, en estos escenarios de madera. Añade aquí una dimensión afectiva, al compartir el espacio del retablo con la obra de su padre, que hizo la imagen de *San Miguel* décadas antes. Francisco tuvo muy presente el tamaño de la escultura de su progenitor para potenciar su valor y contribuir a que no quedase desmerecida en la estructura arquitectónica (Peña-Velasco, 2013), que apostaba por un cuerpo único en su arquitectura, descartando la compartimentación y los ciclos pictóricos que dominaban en la etapa precedente. En un retablo, las esculturas no tienen el mismo tamaño, dependen de su importancia y emplazamiento. En general son más grandes las que están a más altura, como aquí se comprueba.

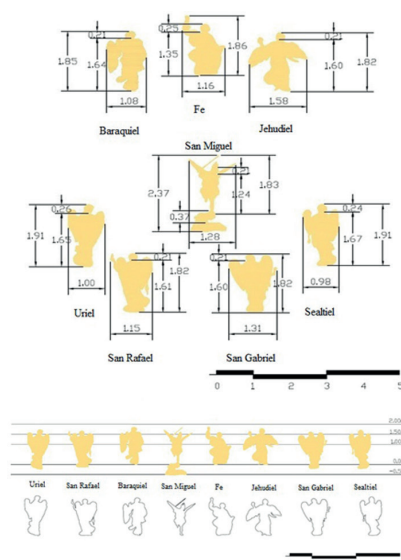


Ilustración 6. Siluetas acotadas de las esculturas del retablo de San Miguel de Murcia y en disposición lineal (Fuente: Elaboración propia).

La de mayor envergadura suele ser la imagen principal, que en el Barroco se instaló en amplias hornacinas y en camarines, lo que permitía el incremento de su volumen. En esta ocasión, no sucede así, siendo *San Miguel* la menor. Del pie a la cabeza mide 1,45 m.

En el contrato notarial para hacer el retablo, suscrito cuando se llevaba hecho un tercio, se dispone incrementar el número de imágenes de cinco a siete y se eleva la altura del camarín. Francisco Salzillo sugeriría cambios y pensaría en la escultura de *San Miguel*, sin olvidar a los seis arcángeles y la *Fe*, que él hizo. Trabajó estas obras en el taller, no *in situ*, y consideró el tamaño que convenía a cada una, sus proporciones y silueta. Las cinco del primer cuerpo se sitúan a diferente altura respecto al suelo, en una disposición que no es la habitual, precisamente para evitar que *San Miguel* quede deslucido, ya que es la más pequeña de las cinco esculturas. En el ático, las imágenes aumentan de altura como es preceptivo. La *Fe* domina con su volumen. Se dispone sentada y con su mano derecha elevada mostrando el cáliz; con él mide 1,86 m. Las obras manifiestan mayor libertad respecto al momento precedente, máxime al no están amparadas en hornacinas. Destaca el interés por la variedad de siluetas de las figuras, que apoyan a veces sobre nubes –*Uriel, Rafael, Gabriel y Sealtiel*–, con las telas de los paños arremolinadas y alas desplegadas y dispuestas según la acción que realicen. Para efectuar correctamente la acotación de las esculturas, se han considerado las figuras y los elementos en los que se apoyan, al mismo tiempo que se miden también según el ancho de sus brazos y alas. La máxima altura del objeto sobre el que descansan los arcángeles la tiene el demonio y su base bajo San Miguel, los cuales miden 0,62 m. Sin embargo, puestas en disposición lineal todas las esculturas, con la altura 0 en los pies, las esculturas del ático son claramente más altas. Los cuatro arcángeles del primer cuerpo, sin tener en cuenta su base, están en torno a 1,80 m. Quedando el titular en el centro como el más pequeño, pero al incluir la espada arriba y la base con el demonio abajo, el conjunto alcanza los 2,37 m., que es la máxima altura de todas las esculturas aunque sea la de menor volumen y envergadura.

- Se ha difundido el modelo obtenido texturizado en una plataforma de acceso libre. Dado el gran potencial que este material posee, puede ser usado para desarrollar actividades de educación y divulgación patrimonial de manera práctica y didáctica y con posibilidad de hacer campañas institucionales de promoción de la Región de Murcia, así como plantear aplicaciones concretas para personas con discapacidad. Cualquiera que lo desee puede disponer de información sobre la obra. Estos modelos virtuales son atractivos y rigurosos y componen un material útil para efectuar espacios divulgativos que potencien la protección del patrimonio cultural en documentales y de otro modo, máxime cuando se trata de un BIC. En este sentido, cabe recordar lo propuesto recientemente sobre el tema en el convenio de colaboración entre Radio Televisión Española y la UNESCO en febrero de 2017, para efectuar microprogramas para sensibilizar sobre la diversidad cultural y la importancia de la salvaguarda del patrimonio (<<https://es.unesco.org/news/radio-television-espanola-se-campana-unesco-unidosxelpatrimonio>>. [Consulta:3.12.2017]), noticia difundida ampliamente por la prensa. El retablo no está en un museo, sino en un templo, que es un lugar devocional, de modo que se puede contribuir al mayor conocimiento de estos bienes protegidos e importantes del patrimonio material e inmaterial, incitando el interés y respeto por los mismos desde su conocimiento e interpretación y sirviendo de apoyo a los museos que tienen obra de Francisco Salzillo y, muy especialmente, a la parroquia que lo posee.

Cualquier persona que acceda a la web se puede mover libremente por el retablo completo, deteniéndose y acercándose cuanto quiera; además de poder incluir en el futuro metadatos o información alfanumérica en determinados elementos, lo que permitirá una aproximación más exhaustiva y precisa. Dicha información podrá ampliarse y realizarse en diferentes idiomas o niveles, todos ellos incluidos en la web, donde el acceso es libre, directo y ágil. Ejemplos de ello se observan en alguna de las ilustraciones] y en el siguiente link <<https://skfb.ly/6tMrU>>.

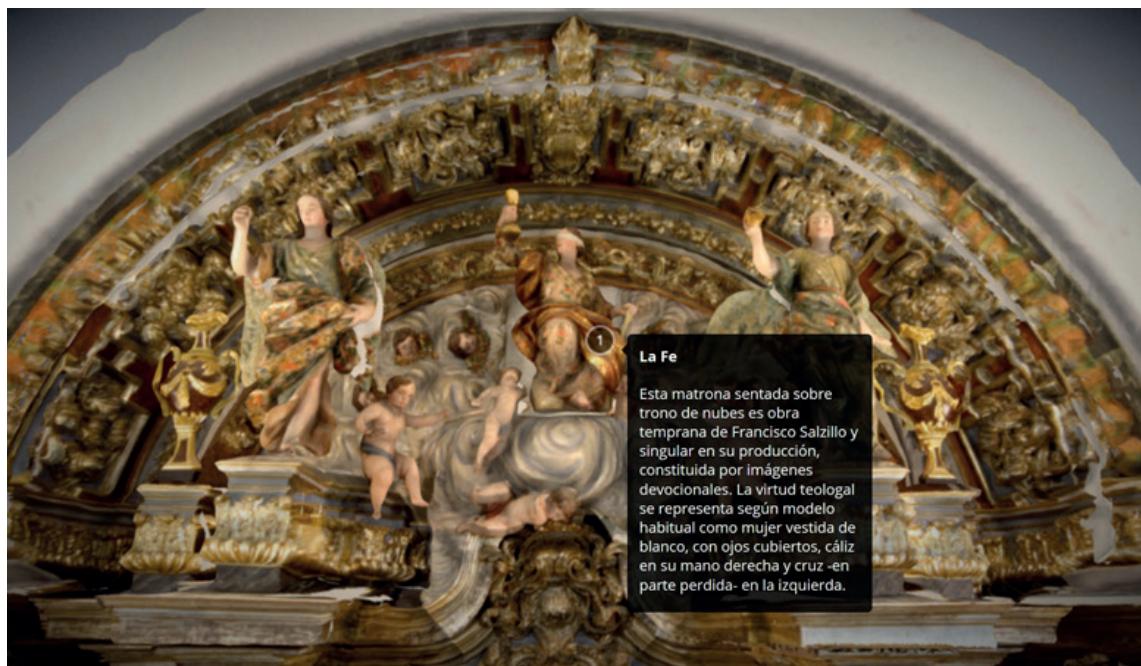


Ilustración 7. Imagen del modelo con un ejemplo de metadatos (<https://skfb.ly/6tMrU>) (Fuente: Elaboración propia).

La idea es continuar incorporando más datos, tanto de imágenes que muestren los aspectos cambiantes que experimenta el retablo con apertura y cierre de tabernáculo y camarín, como de agregación de textos. De este modo, la explicación se vinculará al modelo geomático, refiriendo aspectos relativos a la historia de la construcción del retablo, a los autores de la arquitectura en madera y de cada uno de los arcángeles, a la iconografía y a los repertorios ornamentales. Hay una riqueza de motivos de gran interés que se pierden en el conjunto de la obra y que, aprovechando el material aquí presentado, cabe visualizarlos e identificarlos mejor, aclarando aspectos sobre su conformación y significado.

Además, con el material y los conocimientos técnicos adecuados, se puede efectuar una réplica precisa del objeto. El uso más extendido ha sido para su venta, que implica también divulgación, pero también puede hacerse para su conservación y estudio. Técnicas de reproducción de esculturas se han utilizado para preservar la obra y valerse de la copia *in situ*, poniendo la original en museos o en lugares donde las condiciones de conservación son mejores o para sustituir al original en determinados casos, como salir en procesión cuando las condiciones meteorológicas son adversas. Asimismo, tienen una aplicación inmediata con reproducciones en 3 D para proporcionar el disfrute y conocimiento a invidentes y otras personas con discapacidad. En este sentido, cabe recordar experiencias recientes auspiciadas desde el Museo del Prado con iniciativas como *Tocar el Prado* (<<https://www.museodelprado.es/actualidad/noticia/el-museo-del-prado-se-hace-accesible-a-personas/7df7af29-5238-45d0-b296-b6723f48c504>>. [Consulta:3.12.2017]) o

en La Alhambra, con la instalación de paneles táctiles (<<http://www.canalpatrimonio.com/la-alhambra-de-granada-instala-paneles-tactiles-para-invidentes/>>. [Consulta:3.12.2017]). La inclusión se presenta como uno de los desafíos para continuar trabajando en los museos y en otros ámbitos patrimoniales, para hacer llegar a personas con dificultades el conocimiento y disfrute de los bienes protegidos, como cabe hacer en esta ocasión.

- *Se ha previsto hacer un corpus de modelos tridimensionales texturizados de retablos y plantear itinerarios culturales a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El objetivo es proseguir con la documentación gráfica, conocimiento y divulgación de los retablos del Barroco para establecer la metodología de trabajo idónea y conseguir los resultados óptimos. Para ello tienen que converger la precisión en las medidas, el conocimiento de la obra, la sensibilidad ante la misma y el estudio riguroso de las circunstancias y la realidad. A partir de la información recopilada en los SIG y de las opciones que seleccione el usuario, este podrá elegir su propio recorrido.*



Ilustración 8. Modelo tridimensional texturizado del retablo mayor barroco de San Miguel de Murcia, generado mediante fotogrametría y laser escáner (Fuente: Elaboración propia).

6.- Conclusiones

Conocer mejor un bien significativo y protegido legalmente del patrimonio material e inmaterial siempre es importante y la Geomática proporciona medios para obtener información fiable que por las vías tradicionales de estudio es complicado o imposible lograrlo. Por tanto, es imprescindible aprovechar los avances tecnológicos y aplicarlos al ámbito del retablo en acciones de investigación, conservación y educación patrimonial, pero considerando la necesidad de configurar equipos multidisciplinares. Los datos obtenidos son muy interesantes para efectuar relecturas y permiten explotar un material atractivo para darle mayor visibilidad y difusión al bien patrimonial protegido y no musealizado, llegando a un público más amplio que el que habitualmente acude a contemplarlo.

Se ha establecido una metodología aplicada, con un flujo de trabajo claro y válido para este objeto. En etapas posteriores, habría que incluir las peculiaridades que se dan en otros retablos barrocos para ir confeccionando una metodología particularizada, según las características de cada pieza. El retablo estudiado es muy complejo y la toma de datos y su interpretación también. La riqueza decorativa, la cantidad de planos existentes y la ocultación total o parcial de determinados elementos hace difícil la medición directa de todo el modelo, por lo que habría que completar las mediciones de campo con drones o con elementos que permitan otros puntos de vista. Así, se perfeccionaría el modelo y se incorporarían aspectos apenas perceptibles.

Las aplicaciones geomáticas son importantes para conocer las dimensiones reales del retablo y sus detalles. La obra se ha medido por vez primera en su integridad, pero también cabe analizar con datos certeros disponibles cuestiones que hasta ahora no han sido tan consideradas, como son los procesos de creación artística, las posibles intenciones del artista o la relación numérica de las partes del retablo, siendo conscientes del potencial de estudio que posee el material obtenido y la conveniencia de divulgarlo. Se ha enriquecido el modelo con información histórica y artística para contribuir a difundir este patrimonio de un modo interactivo, ágil y sencillo en plataformas ligeras. Esto podría ampliarse con la generación de un sistema de información geográfica donde cada elemento tenga una tabla de atributos con un relato tan detallado como se quiera.

En lo referente a la escultura, Salzillo es un hito patrimonial en Murcia y este ciclo compone un conjunto destacable en sus inicios y es único en su producción. El modelo tridimensional generado ha permitido reflexionar en dimensiones reales sobre cómo Francisco Salzillo se las ingenió para resaltar la escultura de San Miguel, que es de pequeño tamaño para el ámbito que la acoge y la más baja de todos los arcángeles que se incorporan en el retablo. El artista trabajó las piezas en el taller y el respeto y afecto filial de Francisco, que se había hecho cargo del taller familiar en los años inmediatos a la ejecución de este encargo debido a la muerte de su padre, propiciaría una atención particular para mantener la imagen de Nicolás Salzillo y evitar que quedase desmerecida, al incorporarse en una arquitectura en madera que tenía una escala diferente.

Por sí mismo lo virtual no es sustitutivo del objeto artístico, ni debe obviar el encuentro entre el espectador y la obra, con todo lo que conlleva de experiencia vital y única. Sin embargo, en lugares de culto con obras protegidas y con un horario condicionado por las necesidades de atención parroquial, el modelo tridimensional virtual, que es un medio pero no un fin, facilita mucho el conocimiento y puede despertar el interés por la visita.

El ojo humano llega a lugares que la máquina no y al contrario. Los datos obtenidos merced a las aplicaciones geomáticas generan debate y reinterpretaciones, al ser abordados por profesionales desde diferentes ámbitos. Es necesario que sean aprovechados en acciones que propicien el avance el conocimiento y la difusión del patrimonio.

* Este trabajo es resultado de los proyectos de investigación *Hispanofilia III* exp. HAR2014-52414-C2-1-P del Ministerio de Economía y Competitividad y *Columnaria I. Comprender las dinámicas de los Mundos Ibéricos*, cod. 19247/PI/14 de la Fundación Séneca de la Región de Murcia y del proyecto de investigación *Aplicaciones geomáticas para el análisis, conservación y divulgación de los retablos barrocos* del Plan de apoyo I+D+i 2017-2020 de la UPCT. Se desea agradecer a Don Jaime Fernández los trabajos previos desarrollados durante su etapa de becario de iniciación de la actividad investigadora.

7.- BIBLIOGRAFÍA

ARNHEIM, R. (2011). *El poder del centro. Estudio sobre la composición en las artes visuales*; López Martínez, Francisco (versión española). Madrid: Akal.

BELDA NAVARRO, C. (2001). *Francisco Salzillo. La plenitud de la escultura*. Murcia: Caja Murcia.

BUILL POZUELO, F.; NÚÑEZ ANDRÉS, M. A. y REGOT MARIMÓN, J. (2013). “Técnicas de captura masiva de datos para el levantamiento y modelado de monumentos medievales”. *EGA, revista expresión gráfica arquitectónica*, n. 21, pp. 62-73. En línea: <<https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/1525>> [Consulta: 9.10.2017].

CABEZOS BERNAL, P. M. y ROSSI, A. (2017). “Técnicas de musealización virtual. Los capiteles del Monasterio de San Cugat”. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, n. 29, pp. 48-57. En línea: <<https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/7340>> [Consulta: 9.10.2017].

CANTOS MARTÍNEZ, O.; LODEIRO PÉREZ, J. M. y LAGUNA RODRÍGUEZ, F. J. (2009). “La fotogrametría como apoyo gráfico en la restauración de los retablos escultóricos en madera policromada”. *Patrimonio Cultural de España*, n. 1, pp. 237-149.

CEÁN BERMÚDEZ, J. A. (1800). *Diccionario Histórico de los más ilustres profesores de las Bellas Artes en España*. VI. Madrid: Viuda de Ibarra.

CHENG, H.M. (2012). “The Workflows of 3D Digitizing Heritage Monuments”. En Apolinar Muñoz Rodríguez ed., *Laser Scanner Technology*. InTech, pp. 183-196. En línea: <<https://www.intechopen.com/books/laser-scanner-technology/the-workflows-of-3d-digitizing-heritage-monuments>> [Consulta: 26.10.2017].

DÁVILA, M. (2014). “Restitución fotogramétrica de retablos. Naves laterales de San Jacinto, Caracas”, *Blucher Design Proceedings*, v. 1 n. 8, pp. 158–161.

DI LIDDO, I. (2008). *La circolazione della scultura lignea barocca nel Mediterraneo, Napoli, la Puglia e la Spagna. Una indagine comparata sul ruolo delle botteghe: Nicola Salzillo*. Roma: De Luca Editori d'Arte.

DOMINGO ANGULO, E. de (2017). “La comunicación de los centros eclesiásticos de Castilla y León”. *e-rph. Revista electrónica de patrimonio histórico*, n. 20. En línea: <<http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero20/difusion/estudios/articulo.php>> [Consulta: 25.09.2017].

FANTINI, F. (2012). “Modelos con nivel de detalle variable realizados mediante un levantamiento digital aplicados a la arqueología”. *EGA. revista de expresión gráfica arquitectónica*, n. 19, pp. 306-317.

FUENTES Y PONTE, J. (1880–1884). *España Mariana. Provincia de Murcia*. Murcia: Fundación Centro de Estudios Históricos e Investigaciones Locales de la Región de Murcia, 2005.

GARCÍA LÓPEZ, D. (2015). “Era todo para todos: la construcción biográfica de Francisco Salzillo durante el siglo XVIII”. *Imafronte*, n. 24, pp. 103-164.

GARCÍA MAHÍQUES, R. (2016) (dir.). *Los tipos iconográficos de la tradición cristiana. 2. Los ángeles I, La Gloria y sus jerarquías*. Madrid: Encuentro.

GONZÁLEZ GARCÍA, J. L. (ed.) (2009). *Mapa de riesgos naturales en la ordenación territorial y urbanística*. Madrid: Colegio Oficial de Geólogos.

GRÜN, A.; REMONDINO, F. y ZHANG L. (2004). “Photogrammetric reconstruction of the great Buddha of Bamiyan, Afghanistan”. *The Photogrammetric Record*, v. 19 n. 107, pp.177-199.

KOUTSOUDIS, A.; VIDMAR, B.; IOANNAKIS, G. et al. (2014). “Multi-image 3D reconstruction data evaluation”. *Journal of Cultural Heritage*, v. 15 n. 1, pp. 73–79. En línea: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207412001926>> [Consulta: 9.10.2017].

MÂLE, É. (2001). *El arte religioso de la Contrarreforma: estudios sobre la iconografía del final del siglo XVI y de los siglos XVII y XVIII*; Guasch, Ana M^a (versión española). Madrid: Encuentro.

MARTÍN GONZÁLEZ, J. J. (1988). “Problemática del retablo bajo Carlos III”. *Fragmentos*, n. 12–14, pp. 33–43.

MARTÍN GONZÁLEZ, J. J. (1993). *El retablo barroco en España*. Madrid: Alpuerto.

MARTÍNEZ CEREZO, A. (2014). “Vida de Salzillo para las ‘Vidas’ de Palomino”. *Nazarenos*, v. 14, pp. 62-69.

MARTÍNEZ RIPOLL, A. (2006). “Francisco Salzillo, un profeta en su tierra. Una biografía, con catálogo, por el matemático Luis Santiago Bado”. En: *La Dolorosa y la Cofradía de Jesús*. Murcia: Cofradía de Jesús Nazareno, pp. 27-55.

MORTARA, M.; CATALANO, C. E.; BELLOTTI D. et al. (2014). “Learning cultural heritage by serious games”, *Journal of Cultural Heritage*, v. 15 n. 3, pp. 318–325.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E. y PAVIA, S. (2013). “Historic Building Information Modelling-Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture”. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 76, 2013, pp.89-102.

PACIOLI, L. (2008). *De Divina Proportione*. Introduc. A. M. González Rodríguez, 4ª edic., Madrid: Akal.

PAVLIDIS, G.; KOUTSOUDIS, A.; ARNAOUTOGLU, F.; TSIUKAS, V. y CHAMZAS C. (2007). “Methods for 3D digitization of Cultural Heritage”, *Journal Cultural Heritage*, v. 8, pp. 93-98.

PEÑA-VELASCO, C. (1992). *El retablo barroco en la antigua Diócesis de Cartagena 1670–1785*. Murcia: Asamblea Regional.

PEÑA-VELASCO, C. (2012). “Un retablo de arcángeles en el Barroco español”. En: Concepción Peña-Velasco y María Albaladejo eds., *Apariencias de persuasión. Construyendo significados en el arte*. Murcia: Editum, pp. 333-414.

PÉREZ SÁNCHEZ, M. (2013). “La custodia con astil de figura: del Barroco a la Ción a través de los ejemplos del Sureste Español. La impronta de Salzillo”. En: Jesús Rivas Carmona ed., *Estudios de Platería. San Eloy 2013*. Murcia: Editum, pp. 399-420.

RAMALLO ASENSIO, G. (2007). *Francisco Salzillo escultor 1707-1783*. Madrid: Arco.

SÁEZ VIDAL, J. (1998). *Retablos y retablistas barrocos en Orihuela*. Alicante: Diputación Provincial de Alicante.

SÁNCHEZ MORENO, J. (1945). *Vida y obra de Francisco Salzillo: Una escuela de escultura en Murcia*. Murcia: Universidad de Murcia.

SÁNCHEZ-ROJAS FENOLL, M. C. (1977-1978). “El escultor Nicolás Salzillo”. *Anales de la Universidad de Murcia. Filosofía y Letras*, v. XXXVI n. 3-4, pp. 255-296.

TABARES ESTEBAN, G.; FERNÁNDEZ DE GAMBOA CÉSPEDES, C. y BALLESTEROS GARCÍA-ASENJO, E. (1999). “La fotogrametría y la ortofoto: técnica y aplicación al proyecto de investigación e intervención del retablo mayor”. *Revista PH*, n. 27, pp. 91-98.

VIDAL BERNABÉ, I. (1990). *Retablos alicantinos del Barroco (1600-1780)*. Alicante: Universidad de Alicante.

WIEDEMANN, A., HEMMLEB, M., ALBERTZ J. (2000). “Reconstruction of historical Buildings based on images from the Meydembauer archives”. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. XXXIII (Part B5), pp. 887-893.

YASTIKLI, N. (2007) “Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning”. *Journal Cultural Heritage*, v. 8 n. 4, pp. 432-427. En línea: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207407001082>> [Consulta: 8.10.2017].

INTERACTIVE DISSEMINATION OF THE 3D MODEL OF A BAROQUE ALTARPIECE: A PIPELINE FROM DIGITAL SURVEY TO GAME ENGINES

*Josefina García-León**, *Paloma Sánchez-Allegue**, *Concepción Peña-Velasco***, *Luca Cipriani****, *Filippo Fantini****

*Universidad Politécnica de Cartagena - Cartagena, España.

**Universidad de Murcia - Murcia, España.

*** Alma Mater Studiorum Università di Bologna - Bologna, Italy.

Abstract

The dissemination of reality-based models allows a more exhaustive knowledge of the object of study and enables a better access through real-time applications running on common devices connected to the web. In addition, difficult-to-appreciate works of art can become object of specifically designed serious educational games through the possibilities allowed by game engines. The definition of a pipeline that leads from a reliable acquisition of shape, color and BRDF features to a motivating and satisfying interactive experience is the focus of this paper. It will be analyzed, in an interdisciplinary perspective, and will undergo a series of steps aimed at preserving the features of the work of art without compromising its realistic and fluid visualization, as well as the characteristics at the base of the stylistic and artistic quality.

Keywords

Baroque altarpiece, game engine, 3D laser scanner, retopology.

1. Introduction

The development of specific protocols to generate accurate 3D models of Baroque artifacts and their subsequent dissemination is the main objective of this research.

The developed methodology combines complementary techniques (topography, digital photogrammetry and laser scanner) to obtain a reliable and complete documentation of works of art (Yastikli, 2007).

Previous investigations already underlined the increased possibilities enabled through the synergy of current cutting-edge acquisition technologies and traditional analysis in the field of art, history of art and archaeology (Remondino, 2011): in most cases, the achievement of accurate representations of complex shapes - altered by the action of time and man - is no longer a limitation as in the past.

In the current scenario of interdisciplinary researches on Cultural Heritage, one focus, among others, is achievement of true and long-lasting exploitation of digital models. It is worth mentioning two mainstream investigation lines, centred on 3D digital simulacra. One is centred their use as a long-standing reference for

restoration and maintenance practice through an Information System (IS) (Apollonio et al., 2017), the other is focused on the pairing education/gaming: this last phenomenon stated in 2003 with the Serious Games movement for teaching and training and then turned to Serious Educational Games (Annetta & Meng-Tzu, 2008, p. 1-12).

The purpose of this paper is the use of gaming technologies to create an interactive application in which the pivotal point is to manipulate virtual objects to develop an understanding of a complex systems: in this case a Baroque altarpiece is the virtual scenario for interacting with movable statues and objects, understand their religious symbolism, immerse in traditional folklore.

Every element inside the application starts with an accurate surveying campaign, then followed by a severe optimization process, capable to exploit, in real-time, the accuracy of active and passive sensors. As a matter of fact, geomatics and photogrammetry have been applied very little to altarpieces with specific aim of their conservation, restoration and graphic documentation (Dávila, 2014; Cantos Martínez et al., 2009).

A specific research line, dealing with the survey of altarpieces, with their morphologic

complexity and optically non-cooperative surfaces has not yet been developed in the full-range of geomatic techniques that can be specifically integrated.

To give an example, the COREMANS project, promoted by the Institute of Cultural Heritage of Spain in which its objective is the proposal and definition of criteria and recommendations, to intervene in the conservation and restoration of heritage works whose material support is made of wood, recommends graphical and metric documentation through photogrammetry (Ceballos, 2017).

However, guidelines for the achievement of reliable 3D models aimed at dissemination through the web are still far from being a matter of specific regulations and standards.

Many altarpieces, like the one shown in this paper, are not always available for a community and for tourists so, a virtual replica accessible from the web would be advisable, as well as, the establishment of standards for acquisition and final interactive models. Thus, an easy and interactive access from any computer or mobile device, to visualize the model and have access to a set of associated historical and artistic information it is close at hand and mandatory in cases like this. (Cabezos & Rossi, 2017). Being able to have an interactive manipulation (Potenziani et al., 2015) allows a disclosure of the heritage that encompasses a wide range of possibilities, from teaching to the most advanced research works, including tourism proposals, among others. It is very important, because it makes it accessible to everyone. At the same time, it allows the user to have an active role, which is more motivating and satisfying for him.

2. *The altarpiece of Nuestro Padre Jesus Nazareno*

The baroque chapel of Our Father Jesus Nazarene of Cartagena was part of the church of the old Dominican convent of San Isidoro, disintegrated in the 19th century and now a military church. It is a singular work, of which in 2017 a record of the Declaration of Cultural Interest was launched (Official Gazette of the Region of Murcia, 142, 22/06/2017, 4501).

It belongs to the brotherhood of the Nazarene, popularly known as *marraja*, with a procession on Monday, Friday and Holy Saturday, being the processions of Holy Week in Cartagena declared of International Tourist Interest.

The “*Marrajo*” is a species of shark and also means an “astute person”. Hence, the origin of this ecclesiastical space traditionally came to be linked to fishermen, although recent research has documented the presence of masons and other artisans among its members and in some cases among its founders (Montejo & Maestre de San Juan, 2009).

The chapel is presided by a high-level altarpiece of the eighteenth century, with an exedra that incorporates doors and niches, but without columns that articulate the structure, and an attic (upper level) that closes in arc.

It occupies the entire wall on which it supports. The powerful central tabernacle offers a novel solution, which finishes with a ribbed interior and a crowned exterior that culminates with a smaller one.

The altarpiece was made in several stages. A part was made to place the sculpture of the Nazarene with dignity at the end of 1731, when the chapel was finished.

In 1748 the *camarín* was commissioned.

A few years later, the wooden structure was extended by the sides and the upper part, as denoted by the pebbles, which proliferated in the area for just over the third quarter of the century. It has been restored in 2015-2016. Its dimensions are 8.32 x 13.06 meters (Fig. 1).

The history of the construction of the chapel is linked to the *Hermanidad de Nuestro Padre Jesus Nazareno* and to the Dominicans. The sculpture of the owner that gave name to the brotherhood was very revered from its origins.

In addition to going out in procession during Holy Week, it was taken out in prayer, especially to obtain the benefits of water - and even before epidemics - in a geographical area where agriculture constitutes a source of essential wealth.

Before the seventeenth century, an association with this dedication was founded, in a context of the emergence of Passionist fraternities¹.

¹ On August 15, 1641, the brotherhood acquired the order of preachers a chapel in his church that overlooked the main street, cardinal artery in the urban layout of Cartagena. It was the first chapel of the epistle ship (Montejo, 2003, p. 21). The

Dominicans saw their temple, which had expanded in that century, benefited from this construction (Montejo and Maestre de San Juan, 2009). At the same time that the convent

At the end of 1731 the chapel was finished, and the wooden altarpiece was erected and gilded, the material par excellence used in the Modern Age in Spain for this liturgical piece of furniture. It is possible that it was the central part of the current

altarpiece. On December 1, the elder brother asked the town hall to attend its inauguration on January 6, 1732. He pointed out that they had managed to do "with heavy fatigue"². The city council collaborated in the expenses of the inauguration

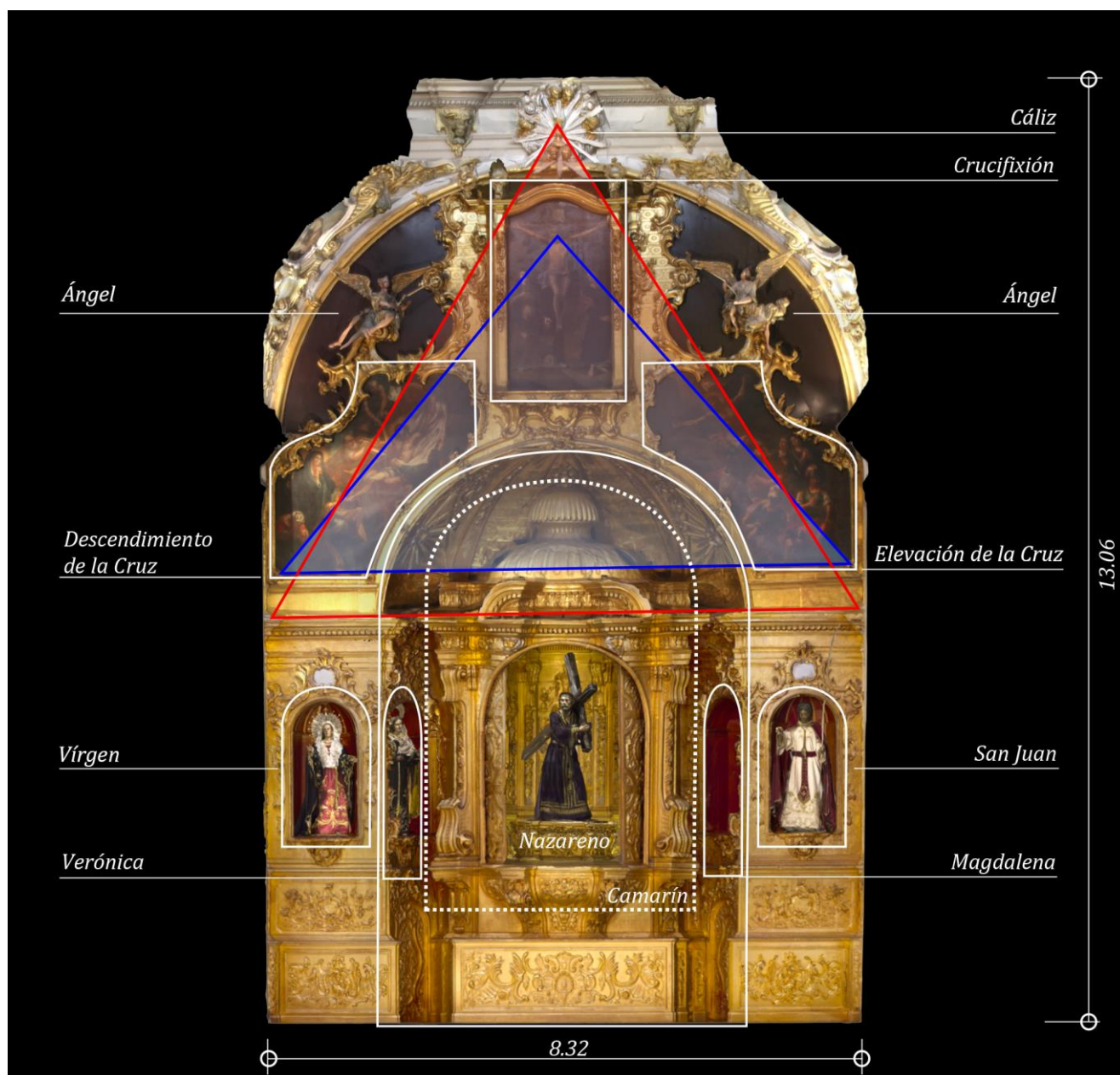


Fig. 1: Baroque altarpiece of the Church of Santo Domingo, Cartagena, Spain

building continued, the friars provided some dependence for the brotherhood to keep certain images and other goods. To expand the chapel of the Nazarene, the brotherhood bought an adjoining house, signing notarial deed on January 7, 1695 (Montojo and Maestre de San Juan, 2009). The difficult moments lived and the Spanish War of Succession, with the invasion of the city with English and

Dutch troops, had to delay the works throughout the first decades of the following century, stage in which they obtained indulgences from the Pope.

² AMcT (Municipal Archives of Cartagena), AC (Actas Capitulares), 1/12/1731, f.349v-350v).

party with 560 *reales* and 30 *maravedíes*, freeing the money from the royal tax per *quintal de barilla*³. In the stage of Juan Martín de Iturburúa as Principal Brother, the brotherhood experienced a great apogee promoting outstanding artistic commissions. In 1748, he entrusted Nicolás Tomás, who had worked in the cathedral of Murcia, to manufacture the *camarín* according to the design elaborated by the artist⁴. He was his guarantor Pedro Marín and adjusted to 5,200 *reales*. They also gave him another 600 for the improvements he had made in the plaster work of the chapel. It must be built and placed in eight months. In 1752 it was golden, paying in part with money obtained from bullfights (Maestre, 1999, p. 8). In the following years the relations between the brotherhood and the Dominicans passed through complicated moments, trying to take away from him some prerogatives that he enjoyed⁵. Also, the marraja brotherhood would promote the increase of the altarpiece and the sculptures that it carried. It would commission it to wrap it around the sides and the upper area with niches and a frame of sinuous structure to accommodate the pictorial repertoire, with the incorporation of sculptures of angels. It has certain concomitances with solutions used in the major altarpieces of the Agustine church in Murcia and the parish of Peñas de San Pedro in Albacete, which date back to the 1750s.

It shows pebbles and attributes of passion scattered by them. Rocallas also carries the old altarpiece of the Charity of Cartagena, hired by Nicolás de Rueda in 1755. However, the movement of structures in the lower part recalls solutions used previously in Murcia (Peña, 1992, p. 287). The name of the author of the paintings is unknown. At the end of the 18th century the sailor and politician Vargas Ponce related them to Manuel Sánchez (collected by Vincent, 1889, p. 445), a priest and painter who was Francisco Salzillo's teacher. However, today it is preferred to consider them anonymous. As for the altarpiece, Vargas evaluated it negatively, according to the opposite attitude in the illustration before these baroque architectures. Ortiz, following other authors, attributes this intervention to Juan Antonio Salvatierra, while this artist, who belongs

to a family of carvers, worked for brotherhoods linked to the order of preachers - the case of the Santa Bárbara altarpiece - and for other religious communities (Ortiz, 1998, pp. 65-71). As for the five sculptures that have been incorporated into the altarpiece, they have been subject to political fluctuations and changes in taste, so that the destruction and successive substitutions characterize their history. From the earliest image of the Nazarene venerated by the confraternity to the current dress made by the Valencian sculptor José Capuz in 1945, there is a long way to go. On the other hand, dated to half of the XVIII century, *San Juan Evangelista*, also of dressing and known by photography, is considered the work of the famous Francisco Salzillo, leaving in procession in 1752 for the first time. The present image is from José Capuz and dates from 1943 (López Martínez, 2017; Hernández Albaladejo, 1996). The *Dolorosa* too is attributed to Salzillo. His disciple Roque López did works for this brotherhood. A *Niño Jesús Nazareno* is verified and it is possible that this destiny had some *Soledad* that effected for this city at the end of century XVIII (Count of Roche, 1889). Other masters continued making images in the following centuries. However, who had a more lasting contact with the brotherhood was Capuz, sculptor retired in Rome and academic of San Fernando since 1927. Before the Spanish Civil War (1936-1939), he made several thrones and, after the destruction experienced, made others (Hernández Albaladejo, 1995).

On the *Verónica* is known to have joined the procession in 1773, by request one year before the officers of the Calafate Arsenal who paid for the image and the throne (Ortiz, 1998, p. 48, Montojo, 2003, p. 30).

The latter agreed to make two sculptures of the Marías or the Daughters of Jerusalem in exchange (Ortiz, 1998. P. 48). At the end of 2016, it was agreed that the Malaga sculptor José María Ruiz Montes would make a new sculpture, which he is currently making.

La Magdalena is the work of José Hernández Navarro in 1984. *Jesús Nazareno*, *San Juan*, the *Virgen*, the *Verónica* and two other images - "not so magnificent, not so flowered" - left, as Vargas

³ AMct, AC, 12/1/1732, f.366r; Ortiz, 1998, pp. 68 -71.

⁴ Maestre de San Juan and Montojo, 2004: 50, AHPM Provincial Historical Archive of Murcia, prot 6192, 07/02/1748, page 138r-139v. The drawing and the conditions of execution were requested to be inserted in the notarial deed of commitment, but do not appear in it.

⁵ The confrontation between fraternities and the religious orders that sheltered them was constant. Despite the problems Juan Martín de Iturburúa had to face when he was older brother with the Dominicans and with the town hall and other personalities (Arróniz, 1903, p. 5; Maestre de San Juan, 1999, pp. 8-9), he was generous with his brotherhood.

Ponce declared in the 18th century, in the Good Friday procession in the morning (Vincent, 1889, p. 451). It was also manifested a century later by Arróniz (1903, pp. 5-6).

2.1 The image arrangement and episodes of passion in the altarpiece

Every altarpiece has an order that oversees image arrangement in compliance to their pre-eminence. Although, it is not always easy to decipher the reasons that led to the incorporation of certain dedications (*advocaciones*) and to establish the iconographic program. The decision of the selection of themes and images and their distribution is rarely left to the discretion of the artist. Generally, it is up to the commissioner (not client, or purchaser) or to whom he designates to respond to his devotions and saints of his name or relatives. While choosing what is chosen should be distributed conveniently and respecting the criteria of dignity and hierarchy. The place of greater importance is in the niche or *camarín* in which the *titular* who gives his name to the chapel or the temple is located. It is located in the center of the main level of the altarpiece, wider and with greater significance. In the baroque age, they were used to clad architecture in wood with mirrors, to create reflections, making the space larger and more decorated.

The rest of the figures and represented scenes are organized to emphasize this point, an area of honor that concentrates attention and towards where everything radiates. In this case, the neuralgic point corresponds to occupy it to the Nazarene to whom the chapel is dedicated⁶. The baroque altarpieces usually have rigging systems that allow closing and opening the *camarín* through doors with decorative motifs and attributes or doorways with canvases with the function of hiding the images⁷. In this altarpiece circular sliding doors are used to store the sculpture. On the outer faces, *Jesus Nazareno* is identified by words and passionary instruments located in cartouches.

The right side of the image of the patron - not the one who contemplates - has more relevance than the left. Therefore, on the right flank of Christ is his mother. This part is called the Gospel side (*evangelio*) and the opposite part of the on of the

Epistle. The names correspond to the places in which, during the past, one and the other texts were read during the liturgy.

The next point in dignity is the left one. In this one *San Juan*, the beloved disciple, is placed. If the altarpiece is enlarged and consequently the places in which the images are placed are increased, a reordering of these can take place, attending again to the aforementioned criteria. The reading begins with the Nazarene and continues from the right side to the left axis of symmetry and so on. However, less visible or smaller places are subordinated to those that are not. Here it happens with the concave facing that lodges two niches, relegated in front of those that are disposed frontally. So, in this case, *Verónica* and *Magdalena* would occupy such niches. The first of the women is the protagonist in a very popular episode of passion, although it is not recorded in the Gospels when wiping away the sweat of Christ, leaving his face imprinted on the cloth. As a bearer of the true portrayal of Jesus suffering, made by a hand that is not human, it has prelacy and is to the right of the Nazarene (Stoichita, 1996, p. 62-65). On the symmetrical side the *Magdalena* is placed. His devotion resurges strongly in the Counter-Reformation in evocation of repentance and penance. She accompanied the Virgin during the martyrdom of his son. Exceptionally, the image of the *titular* can be moved to the upper part of the altarpiece with definitive or temporary character. It happens with Christological and Marian images of great devotion, as well as patrons, according to the reasons that specifically concur. Sometimes in chapels that have changed their name, an image or a picture in memory of the previous name is placed in the attic of the altarpiece. In this case, the cycle of passion that is narrated in the lower part of the altarpiece ends in the upper one.

If in the first the images allude to the path of Jesus on the road to Golgotha, the other corresponds to the hill of Calvary, with the *Crucifixión* flanked by the *Elevación* and the *Descendimiento de la Cruz*.

The chronological sequence in this case would go from the side of the Epistle to that of the Gospel. The pictorial episodes are inspired by plates, especially Rubens originals. The formalization of the lateral scenes is articulated with the presence of two diagonals, whose path reinforces the

⁶ But, moreover, on the cult of latria and hyperdulía - God and Mary - turns Christian piety.

⁷ Similar mechanisms were used in the theater, as well as resources with light and diverse formulas that cause changing effects (Rodríguez G. Ceballos, 1992).

disposition of the body of Christ in his ascent and descent of the cross.

Considering such diagonals, we can draw a triangle with the base in the horizontal line that runs through the lower part of the painting and the other sides go through the heads of Christ and close with the top vertex in the one of the crucified one.

A larger equilateral triangle would start from the cornice line of the first body and the lateral ones would merge into the chalice, symbol of redemption, which is located at the culmination of the altarpiece (Fig. 1).

In front of the narrative staging manifested in the altarpiece, the iconic one appears outside of it through the calyx surrounded by rays and with a cloud dotted with angelic beings (Stoichita, 1996, p. 32).

Christ is risen but his blood is left spilled in the passion and contained in the consecrated glass to quench the thirst of the spirit and fill the afflictions of the Christian.

The three paintings are placed in a frame of sinuous structure and pentapartite where the sculptures of two angels with passionate attributes rest, which are also present in other points of the altarpiece in cartouches and with decorative elements in which the crown of thorns is incorporated, the three nails, the hammer and the pincers.

The angelic beings carry the spear and the branch of hyssop with the sponge in allusion to the wound on the side and to the words of Jesus "I am thirsty".

As the Gospels express, after drinking he said: "Everything has been fulfilled" and "He gave up his spirit" (Jn 19: 30).

San Lucas recounts the darkness that reigned then on earth (Lk 23: 44), as manifested by the canvases that accompany the *Crucifixión*. The death of Christ is represented here, which means the culmination of the salvific message of God to man predicted in the Old Testament. Hence, the Major Prophets are incorporated in the pendentives of the chapel, placing on the sides of the altarpiece Isaiah and Jeremiah, as prophets of birth and passion.

In the altarpieces built in the Modern Age, the *Crucifixión* is a theme that repeatedly culminates the iconographic cycle that is presented on each occasion, being the central issue of the Christian faith. However, as the eighteenth-century

advances other elements and images are arranged in the attic.

On the canvas of the Marraja Chapel, the cross stands on the skull of Adam. The *Virgen María* and *San Juan* are located on the same side as the sculptures of this dedication in the lower body of the altarpiece.

The *Elevación de la Cruz* evokes the *Resurrección* as the culmination of the ascension of the body. It presents a compositional solution that allows the arrangement of numerous figures in visible places and in a variety of positions on one side and the other of the shroud.

The *Virgen* and *San Juan* to the left, two soldiers at the foot and four men at the sides and behind raising Christ nailed to the cross.

The *Descendimiento* is inspired by the work of the same subject of Rubens for the Cathedral of Antwerp, with some changes.

Engraved by Lucas Vorsterman, it reached great diffusion and its diagonal composition and arrangement of the figures in the foreground provides an arrangement that fits well with the space that the frame provides, a complex, oblique and elevated space that allows to place all the characters at first flat giving them visibility, as in the symmetrical canvas.

On several occasions and with variations, Rubens dealt with the Gospel episode of the descent of the heavy body of Christ dead on the shroud that the four evangelists mention.

Two up stairs figures help from the top of the cross. At the feet, the *Magdalena* and *María Cleofás* are kneeling. *José de Arimatea* holds the right arm with the *Virgen María* standing and with her hands in prayer and *María Salomé*, another of the pious women.

To the left of the shroud, *San Juan* stands with his arms outstretched next to another executioner on his back with his naked torso, which helps to support the dead body, as it appears, for example in an anonymous drawing by the Prado Museum of very similar composition, the disposition of the figures has the same model as in this case (Mena, 1990, p. 195).

In short, the altarpiece of the chapel of Jesús Nazareno presents, then, a complex and well-articulated iconographic passionate program, which would probably count on the advice of the order of the Dominicans to which the temple belonged.

3. Methodology

Three phases have been necessary for the achievement of the aspected result: data gathering⁸, post-processing according to the general objective of metric and visual reliability, and the last but not least the development of an interactive application enabling cultural and learning activities through different platforms (local and remote).

Data processing pipeline was tailored to solve specific issues concerning efficient simulation of materials characterized by different optic behavior - corresponding to different finishings - starting from a single apparent colour texture from photogrammetric workflows. Finally, the result obtained should be appropriate for a fluid web visualization, and at the same time, supporting a full interaction with the set of all the acquired assets present in the scene (from the individual animation each statue, to movable elements of the altarpiece and so on).

The final product is aimed at fostering the awareness on symbolic features of this work of art, as well as to enhance the community's sense of belonging to the Church of Santo Domingo.

3.1 Data collection

Previous experiences concerning digital surveying of altarpieces, such as the one located in the Church of San Miguel in Murcia (Peña Velasco et al., 2017), made data acquisition consistent with highly detailed and complex shapes like those of baroque works of art. In particular, shadow-areas due to the intrinsic complexity produce several holes on the final mesh of the altarpiece: for this reason, it was designed a pipeline capable to integrate active and passive sensors. The camera network was designed in order to create a photogrammetric model characterized by a resolution in compliance with the laser scanner one. Ground sample distance (GSD) was designed in order to get a photogrammetric model with a mesh resolution that could easily fit with the one from the active sensor. The mesh-processing phases carried out inside Geomagic Design X (ICP

alignment and Global remeshing) allowed an easy integration of the two models once the two meshes were merged.

In addition, it has to be underlined that logistic aspects play a fundamental role in a surveying campaign that lies almost in the middle between architecture and sculpture. The acquisition must be planned in compliance to several aspects, namely:

- Time at disposal for data gathering
- Different features of acquisition devices (resolution, accuracy, etc.)
- Allowed degree of interaction with the objects (e.g. target application)
- Presence of obstacles that generate occlusions (not measurable areas)
- A stable position of both the equipment and the surveyed object, in particular for statues⁹.

These last two aspects led the surveying team to proceed to a separate the data collection and processing: architectural part of the altarpiece, on the one hand, and the four sculptures on the other (Fig. 2).



Fig. 2: Split data collection: on the one hand, the architectural part of the altarpiece and on the other, sculptures

The first day began with the architectural part data acquisition by means of a topographic base, with a quadrilateral shape (A, B, D, E). Four

consisted in the moving the images from their niches and placing on mobile bases. For the acquisition of upper areas (top of mouldings and other architectural elements), a raised platform was positioned in front of the altar as well as specific lighting equipments aimed at supplying omogeneous and controlled lighting.

⁸ In the summer of 2017, 3D data collection was carried out using both laser scanner and photogrammetric campaign, completed with the taking of control points measured by classical topography.

⁹ In the days before data gathering, the adaptation of the workspace in the Marraja Chapel was carried out by the Church Commission team of the Marraja Brotherhood, which

stations at ground level and a fifth station (C) located at a higher level, namely on the platform, placed at 1.39 m in height.

First, the base station was oriented, establishing an XYZ local coordinate system (100; 200; 50). Then, from each one of the stations a scan was performed, using a Leica Nova MS50 multistation: the final amount of five stations were aligned by classical topography, obtaining a point cloud of with an average resolution of 5 mm for the altarpiece. The final point cloud, before running the filtering process, was formed by 15 million of samples (Fig. 3).

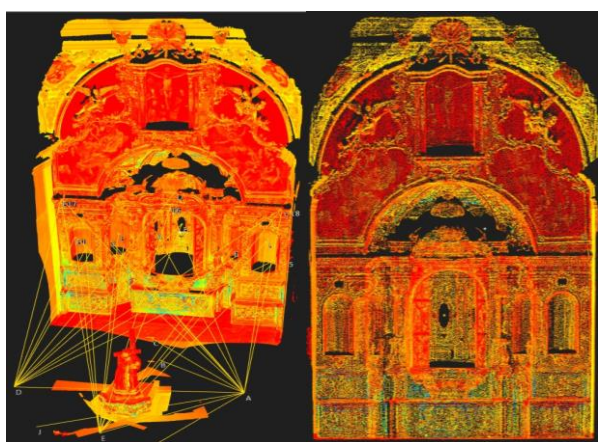


Fig. 3: Point clouds of the altarpiece and *titular* sculpture, Our Father Jesus Nazareno

In the following days the team carried out the scanning activity of the altarpiece. In addition, photographs were taken with the laser scanner integrated camera and a photogrammetric campaign conducted with a Canon EOS 1100D and a Canon EOS 700D both of them non-metric reflex cameras. Size of the image in pixels of 4272x2848 and 5184x3456 respectively. The main settings of the cameras used have been, the use of the focal lens 18 mm on a tripod, f/8, ISO 800 and shutter speed 1/13, although images were also made without a tripod with other settings in the more complicated shots. RAW format was used in order to achieve reliable and consistent colour representation for the whole set of photographed items. The pipeline is based on the use of a Xrite ColourChecker chart at the beginning of every uniform sequence of pics: a reference shot with an average illumination condition and constant parameters (focal length, shutter speed, exposure time, ISO, aperture or F number).

To complete data gathering, 15 target and 3 natural points of the altarpiece were measured.

Due to intrinsically complex shape of the altarpiece, the position of the 18 control points was designed with specific care, to let them be visible from each of the stations. Their position was also planned to avoid possible damages to the golden finishing lied upon the wood of the niches (Fig. 4).

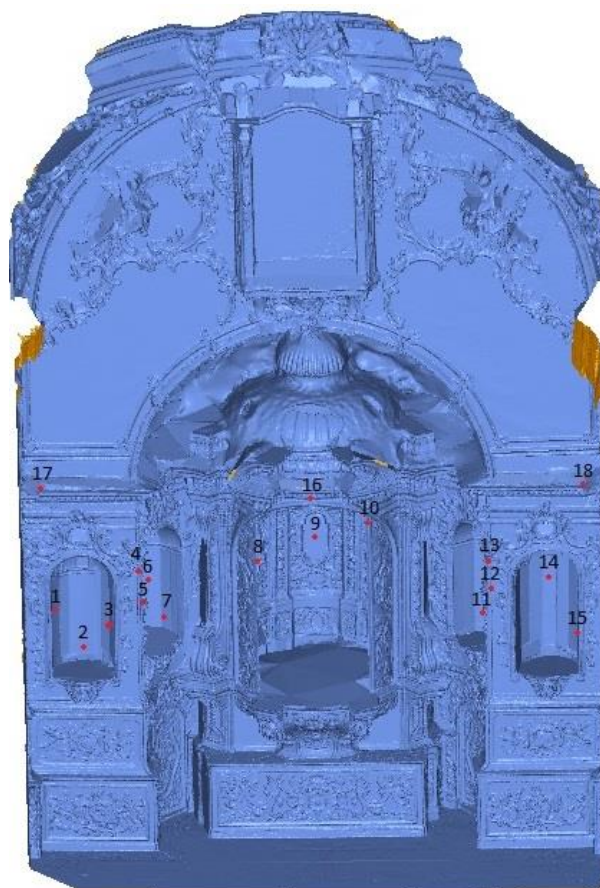


Fig. 4: Target control points from 1 to 15 and natural points from 16 to 18

Each one of the four sculptures were acquired independently, placing four stations around them: for digital adquisition of the *Virgen Dolorosa* (Fig. 5), *María Magdalena* and *San Juan* it was possible to share the same positions of the altarpiece scans. For *Jesus Nazareno*, in order to comply with the minimum distance required by the laser scanner used, two stations J and P were added. The general sampling during the scanning phase of the sculptures was 5 mm. Areas with more detail - namely faces and crowns of great complexity - were acquired at higher resolution, 1 mm, in order to integrate through an active sensor, the photogrammetric campaign that in general produces poor results in case of thin elements.

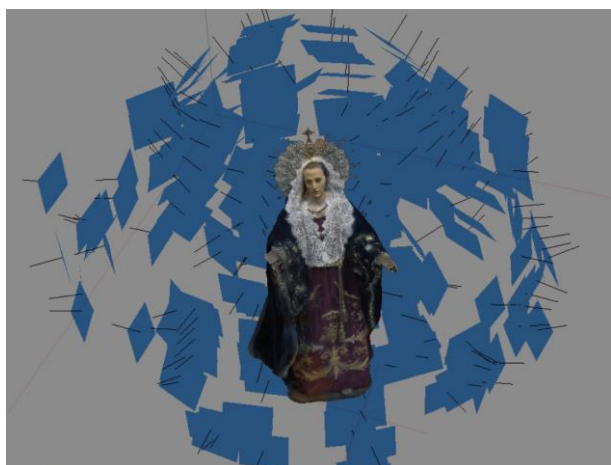


Fig. 5: Photogrammetric model of the Virgen obtained through Agisoft Photoscan

3.2 The 3D model optimization

Data processing starts with the import phase inside Leica Infinity software in which point clouds are filtered to reduce noise, eliminate unnecessary areas, and outliers. The mesh creation phase - carried out inside 3D Systems Geomagic Design X - lead to a mesh of more than 6 million triangles for the altarpiece and 100 thousand triangles for each of the sculptures approximately. The resulting architectural model presents only one significant lack of geometric information, due to occlusion phenomenon, in the back area of the central *camarín* cupula (the scanner could not fit or be lifted to that area). For the integration of this void a specific camera network was designed to supply the general model with a “patch” characterized by homogeneous sampling. The rest of the holes were closed by the creation of flat extrusion surfaces (Fig. 6). Triangular meshes of the sculptural figures from the altarpiece were completed with similar procedures: integration of active and passive sensors, merging of meshes from NURBS surfaces obtained with reverse modelling procedures inside Geomagic Design X. The final master model of the altar can be defined, using the CGI jargon, as high-poly, or HP (7 millions of polygons). This quantity of triangular elements is far from being suitable for game engines and in general with real-time visualization. As matter of facts, these applications require low-poly models made of few thousands of elements. The standard procedure adopted in several studies provides for

a robust decimation process with different resampling techniques (homogeneous edge distance, edge length reduced locally on the base of curvature, etc.).

The procedure proposed in this case assumes that mesh-processing applications designed for mechanical engineering and industrial design are not adequate for the obtention of low-poly models.



Fig. 6: Data integration of the laser scanner (blue): with photogrammetry (orange) and through extrusion of 2D reference (green)

To optimize the mesh, techniques from game industry were applied and customized. The procedure is summarized in the following steps, starting from the master model:

- Decimation of the HP model to an intermediate level, enabling its use inside common CGI applications¹⁰.
- Retopology: namely, the conversion of a highly detailed triangular mesh into a low-resolution one made of quadrilateral polygons (Fig. 7).
- Quad-mesh segmentation: identification of different sub-set of polygons through breaking the connectivity among sequences of edges defining specific architectural features (Fig. 8a).
- Parametrization of the segmented quad-mesh (Fig8b).
- Render to texture procedures (depending on specific needs) to enhance the visual appearance of the low-poly model (fig. 9).

Quantitative aspects of this workflow are present in table 1, but some additional features of

¹⁰ Geometric modelling applications characterized by a polygonal modelling kernel, supporting quad-polygons such as: Cinema 4D, 3D StudioMax, Modo, etc.

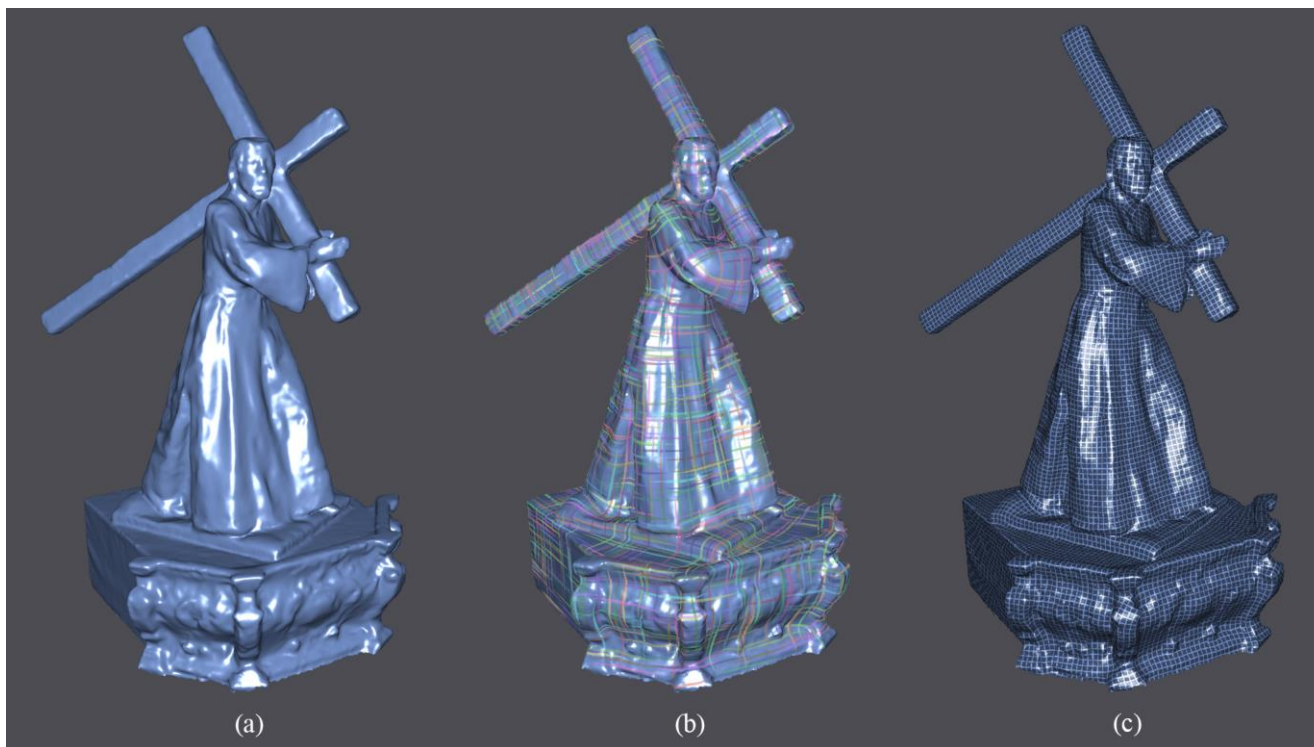


Fig. 7: Automatic quad-dominant remeshing inside Instant Meshes. (a) HP model. (b) Orientation field: a set of directions on the input surface to which the edges of the output mesh should align (Jakob et al. 2015). (c) Position field: a local per-vertex (u, v)-parameterization closely related to the coordinates of the vertices of the final mesh (the gradient is aligned with the directions of the orientation field)

the adopted protocols should be underlined: resampling methods in CGI/VFX industry, is in most cases, still manual. On the contrary, in our case, the research team tried to get rid off, or limit manual retopology (Fig. 8a, b).

The consequence of automatic retopology is than a uniform-sampling quad-mesh with far more polygons with respect to what is considered acceptable in case of commercial video-game applications.

In the case of work of arts, even if the final output is an interactive experience, it is still necessary to preserve metric reliability, and keep under control the deviation between high-poly and low-poly (Fig. 8c).

Besides, semantics, in the case of 3D models from scans and photogrammetry used in the entertainment field it is not felt as primary issue. At the contrary, in our case the architectural model is not the mere scenery or background for the action; it is a medium for the understanding of

cultural, constructive, design features and symbolic features¹¹.

Tab. 1: Data concerning point clouds, triangular and quadrangular meshes

| ITEM | Point clouds (points) | Filtered point clouds (points) | Triangular mesh (polygons) | Quads (polygons) |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------|
| RETABLO | 12.475.146 | 11.963.444 | 2.146.255 | 336.888 |
| VIRGEN DOLOROSA | 596.703 | 497.523 | 92.870 | 13.658 |
| MARÍA MAGDALENA | 412.536 | 366.511 | 80.105 | 27.168 |
| JESÚS NAZARENO | 730.781 | 700.419 | 126.908 | 15.763 |
| SAN JUAN | 557.919 | 485.821 | 96.562 | 36.985 |
| TOTAL | 14.773.085 | 14.013.718 | 2.542.700 | 430.459 |

¹¹ Even if it is not a priority of this case study, the optimized model could be used for other activities concerning restoration, maintenance practice, etc. Once the model has

undergone to a semantic partition, it is simpler the association of its sub-sets to the records of a database.

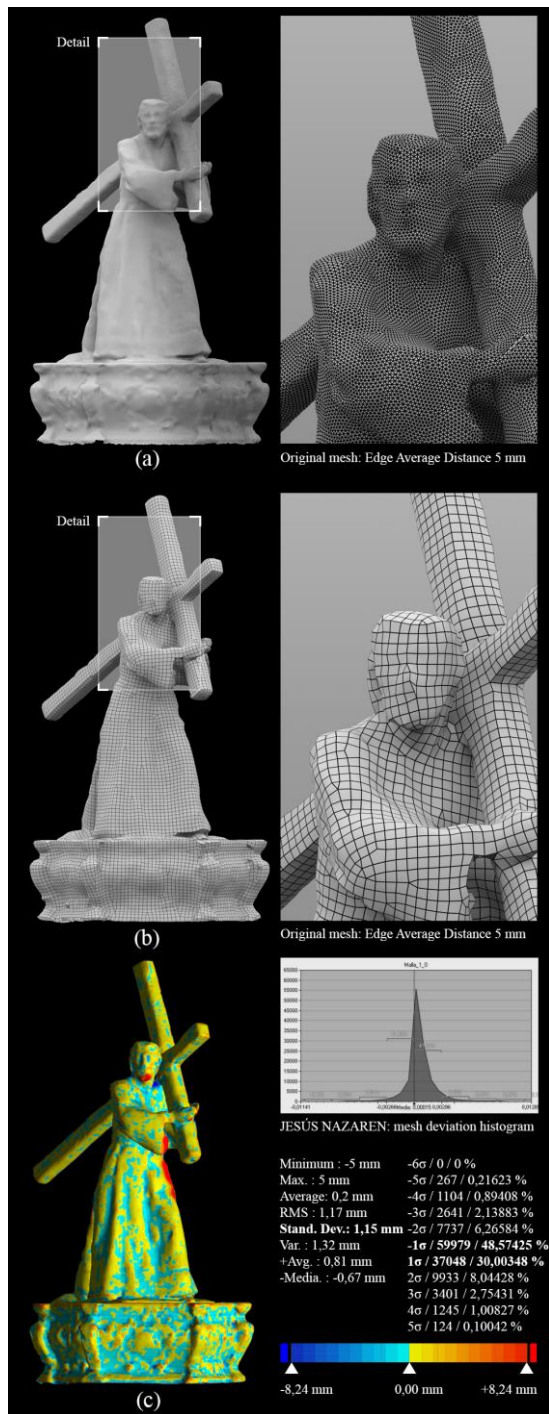


Fig. 8: (a) highly detailed mesh from active and passive sensors. (b) quad dominant mesh. (c) Mesh deviation analysis

The retopology automatic process has been significantly improved in the last years¹², testimony of the interest of several computer graphics branches towards this specific kind of structured meshes. There are many reasons, but among them, the main is the possibility of achieving connected sequences of edges aligned with the main geometric features of an architecture.

This aspect facilitates and speed manual segmentation, making polygonal representations more compact and easing mesh completion and elimination of topological and geometric defects (Cipriani & Fantini, 2015).

Quad-meshes segmentation presents some dimensional limitations due to the threshold established by means of the re-sampling; in other words, the level of granularity cannot go beyond the limit of the edge average length of the mesh.

But, to achieve some additional specification to the model, an efficient (uv) parameterization can be exploited (Fig. 9a). Quad-meshes enable a higher control on the process that converts 3D models into 2D shapes (u,v)¹³ (Fig. 9a).

The general semantic of the altarpiece, with low granularity, leads to a breaking rule of the connectivity and splits the mesh into a limited number of sub-sets, then, those sub-sets will be separately projected onto the (u,v) parameter space creating an equivalent number of islands (Fig. 9b). These 2D homologous shapes are easy to perceive and consistent to a general formal interpretation of the surveyed object. Once chromatic and morphologic information are stored in the parameter space (occlusion, normal, and colour maps, Fig. 9c, d), additional clues will be at disposal to the user for carrying out a second segmentation of the object¹⁴.

Render-to-texture solutions, or “baking”, are standard procedures aimed at transferring information from a model to another; in particular, normals and displacement textures are commonly used in CGI for improving the visual appearance of low-resolution models by means of consistent

¹² The majority of entertainment applications aimed at character modelling through mesh sculpting, progressively implemented automatic remeshing with quads, among them: Pixologic ZBrush (Zremesher tool), Pillgrim 3D Coat (Auto-Retopo), The Foundry Modo (Automatic Retopology Tool). It is relevant to the current discussion to underline how academic projects by ETH, CNR-ISTI, and Università dell’Insubria have drawn the attention of major software houses as Foundry that decided to implement Instant Meshes algorithms starting from Modo 10.2 release.

¹³ The most widespread parameterization algorithms are of three kinds: isometric (length preserving), conformal (angle preserving), and equi-areal (area preserving). For the altarpiece parameterization, due to its complexity, it was needed a mix these tools in order to achieve a proper texel density (<https://www.artstation.com/artwork/qb0qP>).

¹⁴ For recent studies concerning automatic segmentation, see: Grilli et al. 2018, pp. 399-406.

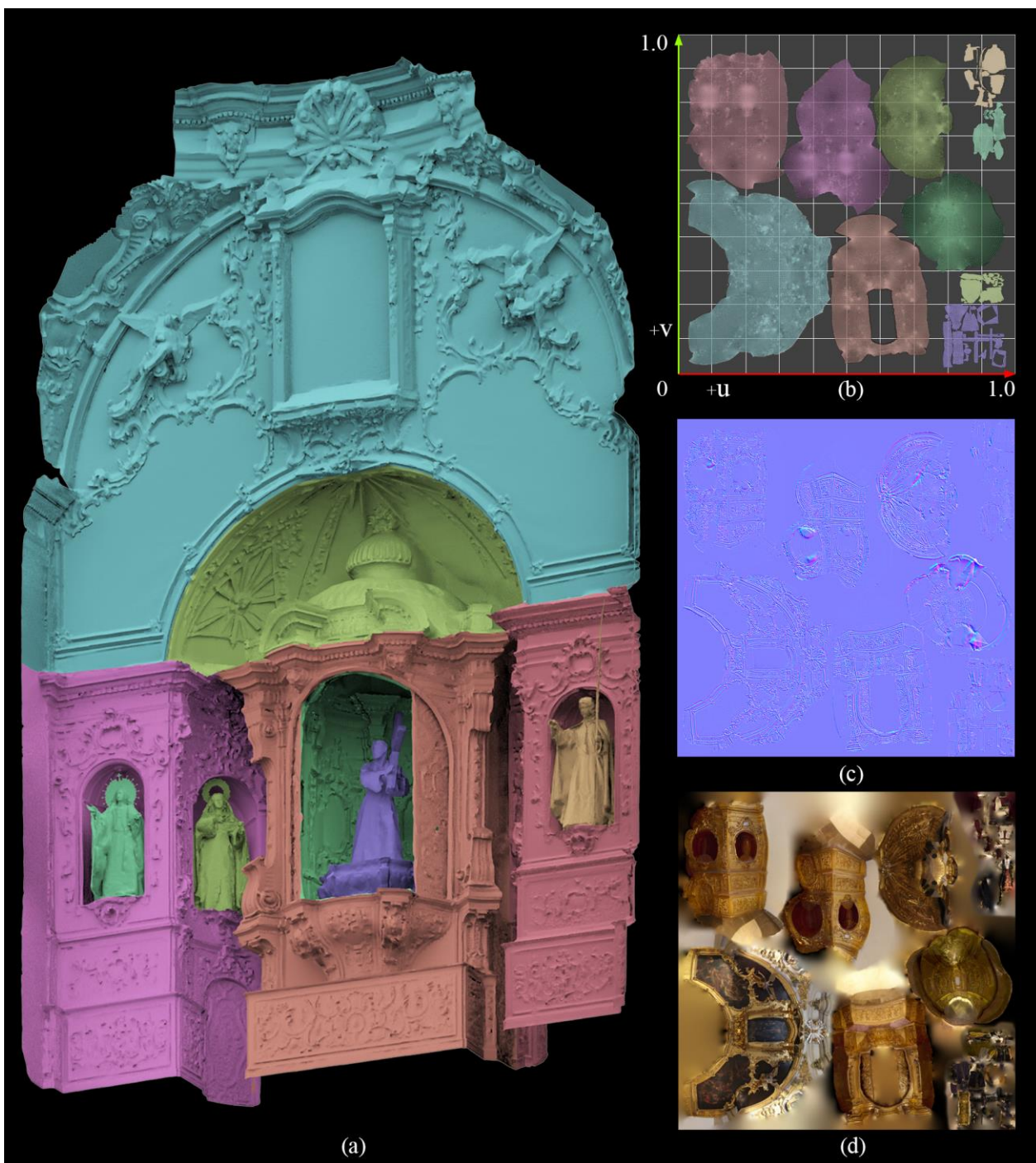


Fig. 9: (a) segmented quad-dominant mesh. (b) parameterization in accord to mesh semantics. (c) normal map. (d) apparent colour texture

procedures. Apparent colour is stored into the (u,v) space using the same parametrization of the model adopted for normal maps. Frame projection and blending is carried out inside Agisoft Photoscan activating the “keep uv” option before running texturing generation.

This last possibility can be exploited only in case the photogrammetric model and every other model (intermediate resolution, low-poly, etc.) share the same reference system established by means of the active sensor campaign.

3.3 Interaction with the model¹⁵

The use of 3D asset inside game engines is split into a set of steps once the optimized low-poly model and the relative set of textures are available:

- The conversion of the model from the native format of the adopted application into an interchangeable one.
- The creation of specific shaders/materials inside a game-developer texture creation solution¹⁶. In most of cases, these solutions are graph-based procedural seamless texture editors that starting from a single bitmap or a set of images create a material suitable for game engines.
- Importing of the set formed by models (included different kind of vertex maps¹⁷, animations), materials and the corresponding textures inside the game engine.
- Designing of both interaction and interface of the application.
- Setting up the scene (lighting, materials, etc.).
- Exporting of the application.

In the case of the altarpiece, the model was geometrically optimized, parametrized and “baked” inside The Foundry Modo, then it was exported towards Allegorithmic Substance Painter¹⁸ using the .FBX format file; colour values and all operations carried out on textures, have been performed in linear space (gamma equal to 1). Allegorithmic implements a physically-based material editor shared within its suite of applications: it means that the seven .FBX files - each one corresponding to a moving or rotating element of the altarpiece (four statues, two bended sliding doors, the architectural “frame”) – have to undergo a specific PBR (Physically-Based rendering) material authoring.

In general terms, the task to carry out inside such stand-alone material editors, starts with with two textures – one applied on diffuse colour channel called baseColor, the other affecting the shading (normal, bump, displacement) –. In case of models from photogrammetric pipelines, apparent colour map is the output of a double process carried out inside Agisoft Photoscan, namely projection and blending of frames onto the (u,v) parameter space; other maps as normal can be calculated inside 3D applications by means of a “baking” process.

The only exception to this set of three assets (one model, two textures) is due to the coexistence of complex optical behavior inside a single mesh; in this case, an additional greyscale texture has to be defined in order to distinguishing different BRDF upon the same mesh.

The greyscale texture is then used to furtherly specify the properties of a mesh without having to split it along a complex sequence of edges that would be a time-consuming operation whose result could be unsatisfying.

This texture is an alpha channel obtained by means of semi-automatic segmentation of the colour bitmap to be used as a mask for materials.

Every common tool for bitmap editing implements a colour-range selection criterion that in this case was applied to the colour texture in order to roughly split golden areas from the rest of the altarpiece.

An aspect of this semi-automatic process should be underlined: the visual reliability of the (u,v) reference of the altarpiece obtained thanks to interactive parameterization tools inside the 3D geometric modelling application used. As a matter of facts, if the (u,v) layout is poor and formed by an uncontrolled number of islands (as it comes out from Agisoft Photoscan), it is almost impossible, in

¹⁵ This paragraph shows the result of a collaboration with the LKA game development studio, authors of the award-winning 'The Town of Light' (<http://www.lka.it/>). Authors would like to thank Luca Dalcò and Lorenzo Conticelli for their effort for the creation of the interactive application of the altarpiece.

¹⁶ Several applications starting from the 2003 have been specifically designed to facilitate complex tasks concerning interoperability among 3D modelling applications and game engines; among them the main commercial solutions are: Allegorithmic Substance (the suite includes: Painter, Designer, B2M, Source, Player), Pixologic Sculptris, Holger Dammertz Neo Textures. For a survey on the topic see: Retrieved 4/04/2018 from <https://www.slant.co/options/12608/alternatives/~substance-painter-alternatives>.

¹⁷ Vertex maps are a comprehensive class of information stored inside the model: they include (u,v) reference systems, weight maps, normals, etc.

¹⁸ Both applications are a standard in game industry and are constantly used in combination thanks to a set of plug-ins also capable to facilitate the “dialog” among 3D geometric modelling applications and 3D painters or shading-design software. Currently, Allegorithmic develops plug-ins for Unreal Engine 4, Unity, Autodesk Maya and 3DS Max (2018 and 2019), Maxon Cinema 4D, The Foundry Modo (series 11 and 12). Since 2007 Brad Peebler, co-Founder and President of Luxology (the former software house that developed Modo), has been in contact with the group of programmers that in 2010 launched Substance Designer.

that case, to manually edit the pixels forming the boundaries of the set of islands.

The low-resolution quad-dominant mesh has been parametrized in compliance to the formal features of the architectural elements to make them recognizable to the user of a bitmap editing application; the aim is to improve and control the boundaries across of the two areas. The set of white pixels correspond to the gold parts of the altar, the black ones to the simpler finishing of the painted wood or canvas (Fig. 10). Inside Substance Painter a gloss material (approximated to a dielectric¹⁹) coexists on the same mesh with gold decorations that are optically more similar to metals (or conductors): these materials absorb light at different wavelengths.

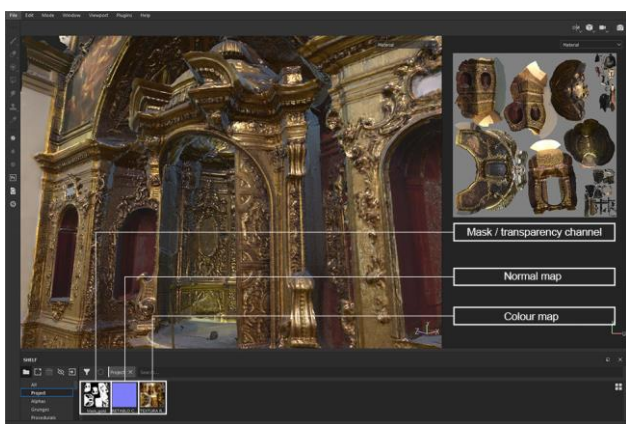


Fig. 10: Physically-based texturing via Substance Painter

In the case of gold, it absorbs blue light at the high-frequency end of the visible spectrum, so it appears yellow as a result (McDermott, 2018).

The fundamental texture for the PBR material achievement inside Substance Painter is the one called "roughness" which reproduces surface irregularities and consequently larger and dimmer looking highlights. This texture reproduces small details varying their orientation in compliance with Torrance and Sparrow model (Torrance & Sparrow, 1967).

After the setup of materials corresponding to each mesh, the whole set of assets is exported towards Unreal Engine 4: an interesting aspect concerning data compression is that in addition to the basecolor and normal, Substance exports another texture in .TGA file format that stores 3 characteristics of the PBR material: Metallic, Roughness e Ambient occlusion parameters. Each

one of them is stored as a single channel of RGB bitmap (Fig. 11).

Inside Unreal Engine is now necessary to reproduce the PBR material by connecting the set of image inputs to the material outputs of each object. In order to emphasize the relation among the statues and the altarpiece a specific lighting setup was designed; to supply the scene with a general illumination and proper reflections over specular materials an HDR probe image was introduced into the scene, as well as conventional lighting sources (spotlights and point lights).

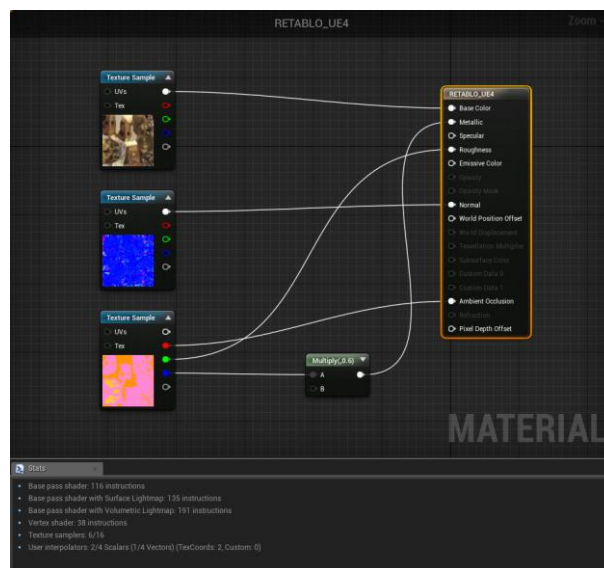


Fig. 11: The texture set from Substance Painter inside Unreal material editor

From the point of view of users' interaction was adopted the Blueprints Visual Scripting implemented in Unreal Engine – a scripting system based on node interface.

This system allows users to get rid of common scripting languages, meanwhile providing the ability to use concepts and tools generally only available to programmers (Fig. 12).

The possibility of rotating the camera, zooming closer to the object and, in addition, the interaction between the altarpiece, the alcove doors and the virtual repositioning of statues was designed through UMG designer panel.

Each button of the graphic interface starts the animation of different elements belonging to the scene.

¹⁹ A dielectric material has bright specular highlights of the same colour as the light source (Cipriani et al., 2015).

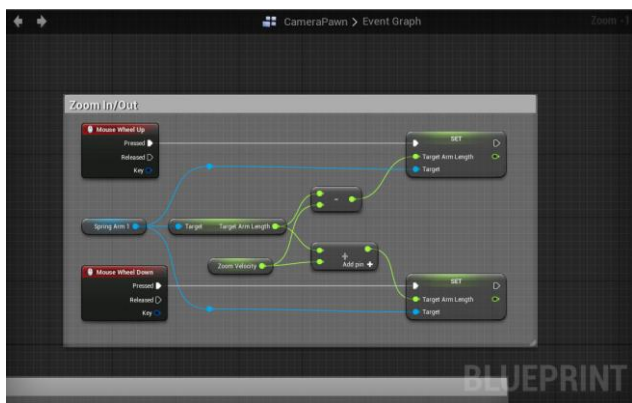


Fig. 12: Setup of the camera movement around the altarpiece

Animation paths were created by using Sequencers (Fig. 13), which allow the user to record animation keys on the properties of objects, as in this case on its transformations over time.

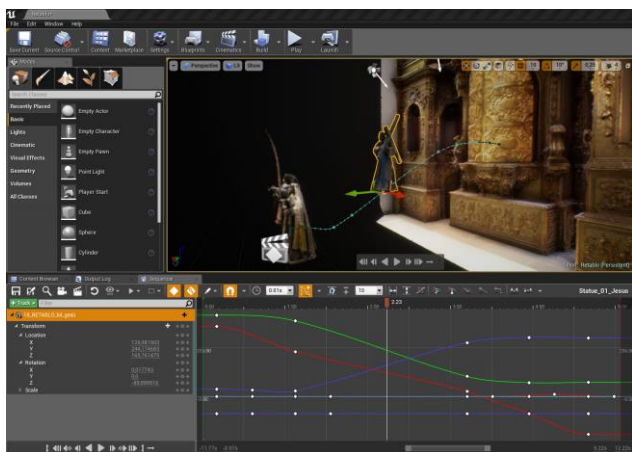


Fig. 13: Definition of animation paths inside Unreal

4. Dissemination and interaction with the model.

Due to the importance of this architectural piece of the eighteenth-century Spanish Levantine heritage located in the city of Cartagena, its three-dimensional documentation was carried out (Fig. 14): the purpose of this model is to be the base for possible future interventions, as well as to disseminate this BIC (*Bien de Interés Cultural*) through free-access digital platforms aimed at enhancing its knowledge and accessibility. The interactive visualization of this 3D model is possible in two ways, either on remote or on local²⁰: through the website [www.sketchfab.com \(https://skfb.ly/6G70u\)](https://skfb.ly/6G70u) and through a dedicated multimedia station (or downloaded).

²⁰ For a survey on web-specific solution for spreading 3D models see: Minto & Remondino, 2014.

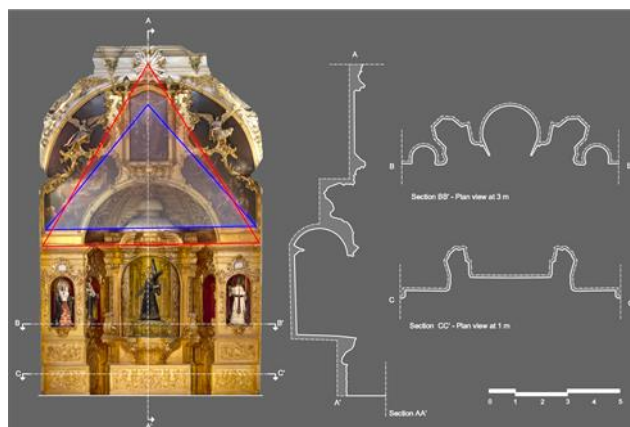


Fig. 14: Altarpiece 3D model, horizontal, and vertical sections

We must remember that this altarpiece is in a temple, which is a devotional place, subject to worship schedules and therefore not always accessible. In fact, the sculptures leave the temple several weeks every year at Easter, because they go out in procession through the streets of the city.

The virtual three-dimensional model can facilitate knowledge and can instill the interest during the on-site visit, enabling many more people reaching, through the web this valuable piece of heritage, and fostering interest and respect for it: from knowledge to interpretation, and especially by supporting the church that owns it.

These virtual models are attractive to today's society and, in addition, they make up a useful material to carry out informative spaces that promote the protection of Cultural Heritage and knowledge of society²¹. Anyone who accesses the web can move freely through the altarpiece, stopping and approaching everything they want (Fig. 15).

By means of this interdisciplinary collaboration, several achievements have been possible: metric and visual reliability of digital assets, their fluid interaction with the user, the scientific correctness of both artistic and symbolic contents concerning the work of art. The main limitation of the proposed operational flow regards the use of several applications - which are also belonging to different disciplinary sectors -. An extended supply chain that involves the use of multiple file formats that combine topography, photogrammetry, 3D mesh processing, baking, 3D

²¹ On these topics, stand out, as some of the more original contributions, the recent papers: Ippoliti et al., 2019, Clini et al. 2017.

material authoring, and game engine does not facilitate the operation of managing and organizing the many files produced and their editing in case of a review.



Fig. 15: 3D model of the altarpiece (www.sketchfab.com)

At the same time, the proposed operating flow aims to fully exploit the visualization potential that distinguishes the creative entertainment industry and in particular, the game engines that, for years now, can not disregard specific programs for the physically-correct material/light setting.

As well as in video games quality and realism progressively improve the same must happen in interactive applications for the dissemination of cultural and scientific contents.

This audience is less extensive than the one that usually "consumes" multimedia contents originating from the entertainment industry; but nonetheless quite expects a similar visual quality in digital art-historical applications. However, a mere contemplation is no longer enough for today's spectator, used to new technologies and their hectic advances in the sector of interaction and photo-realistic visualization. Therefore, the possibility of interrelating with this model has been introduced, interactively grabbing and

moving images, changing their locations, and then find their correct position in the altarpiece (Fig. 16). Then, the images maintain an iconographic order established in a certain way, finding the *Virgen* always to the right of *Jesús* and *San Juan* on the other side, as close as possible to Jesus.

However, in this specific case, the images are not found in the closest niches of the altarpiece, because they are placed in a more hidden position, and it is preferred, to give them greater importance, in the frontal niches.

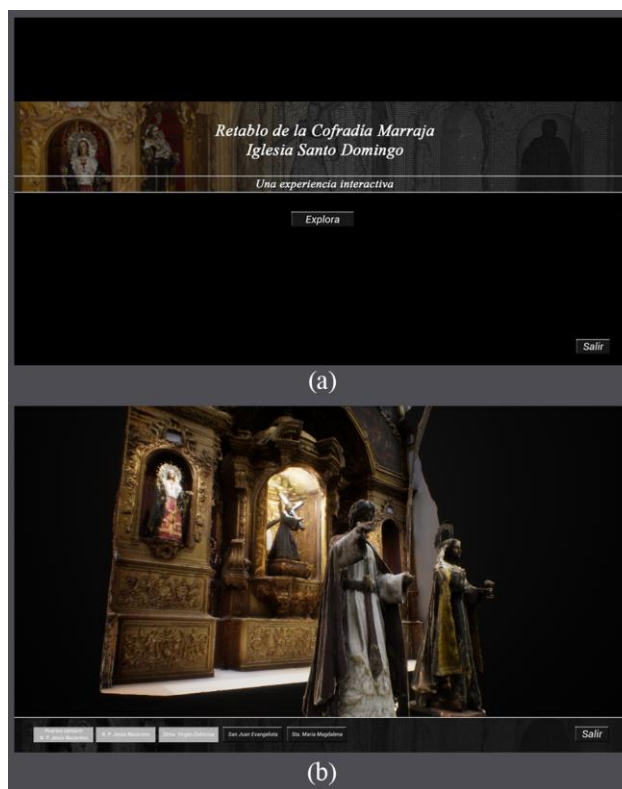


Fig. 16: Screenshots of the interactive application created in Unreal. (a) Home page. (b) A phase of interaction with the statues and the altarpiece

Thus, *María Magdalena*, is in the background, missing a *Verónica*, which currently the fraternity has commissioned to complete the gap of the other niche.

The interaction of this model is that the viewer seeks the correct position of the images in the altarpiece, appearing messages, indicating whether the chosen position is correct or not.²²

²² The present work has been carried out within the projects "Aplicaciones geomáticas para el análisis, conservación y divulgación de los retablos barrocos" in the frame of the Plan I+D+i 2017-2020 of the UPCT and the

project *Columnaria I. Comprender las dinámicas de los Mundos Ibéricos*, Código 19247/PI/14, de la Fundación Séneca.

REFERENCES

- Annetta, L. A., & Meng-Tzu, C. (2008). Why Educational Video Games? In L. A. Annetta, *Serious Educational Games, From Theory to Practice* (pp. 1-12). Rotterdam / Taipei: Sense Publishers.
- Apollonio, F. I., Ballabeni, M., Bertacchi, S., Fallavollita, F., Foschi, R., & Gaiani, M. (2017). From documentation images to restoration support tools: a path following the Neptune fountain in Bologna design process. *Geomatics & restoration – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era*, Göttingen, Copernicus GmbH (Copernicus Publications), 2017, XLII-5, pp. 329 - 336 (proceedings of GEOMATICS & RESTORATION – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, Florence, 22-24 May 2017)
- Arróniz, A. (1903). Marrajos y Californios. *El Porvenir*. 10/04/190, pp. 5-6.
- Cabazos Bernal, & P. M. y Rossi, A. (2017). Virtual musealization techniques. The Capitals of the Monastery of San Cugat. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 29, 48-57.
- Cantos Martínez, O., Lodeiro Pérez, J. M., & Laguna Rodríguez, F. J. (2009). La fotogrametría como apoyo gráfico en la restauración de los retablos escultóricos en madera policromada. *Patrimonio Cultural de España*, 1, pp. 237-149.
- Ceballos Enríquez, L. (Coord) (2017). *The COREMANS Project. Intervention criteria for altarpieces and polychrome sculpture*, Madrid, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Cipriani, L., & Fantini, F. (2015). Elementi per un rilievo geometrico e la restituzione fotorealistica di modelli 3D reality-based. In M. Gaiani (Ed.), *I portici di Bologna: Architettura, Modelli 3D e ricerche tecnologiche* (pp. 95-115). Bologna: Bononia University Press.
- Cipriani, L., Fantini, F., & Bertacchi, S. (2015). El color en las piedras y los mosaicos de Rávena: nuevas imágenes de los monumentos antiguos a través de la fotogrametría no convencional de última generación. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 26, 190-201.
- Clini, P., Quattrini, R., Frontoni, E., & Nespeca, R. (2017). Real/Not Real: Pseudo-Holography and Augmented Reality Applications for Cultural Heritage. In A. Ippolito, M. Cigola (Eds.), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*. Hershey: IGI Global.
- Grilli, E., Dininno, D., Petruccid, G., & Remondino, F. (2018). From 2D to 3D supervised segmentation and classification for cultural heritage applications. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2, 399-406, 2018 (pp. 399-406).
- Dávila, M. (2014). Restitución fotogramétrica de retablos. Naves laterales de San Jacinto, Caracas. *Blucher Design Proceedings*, 1 (8), 158-161.
- Hernández Albaladejo, E. (1996). *José Capuz, un escultor para la Cofradía Marraja*. Cartagena: Cofradía de Nuestro Padre Jesús Nazareno.
- Ippoliti, E., Casale, A., & Guadagnoli, F. (2019). Giving Form to Absence: Experiences in Representation, Communication, and Narration for the Places and Community of Amatrice. In C. Inglese, & A. Ippolito (Eds.), *Analysis, Conservation, and Restoration of Tangible and Intangible Cultural Heritage* (pp. 329-365). Hershey, PA: IGI Global.
- Jakob, W., Tarini, M., Panozzo, D., & Sorkine-Hornung, O. (2015). Instant Field-Aligned Meshes. *ACM Transactions on Graphics*, 34(6), 1-15. DOI:10.1145/2816795.2818078

- López Martínez, J. F. (2017). "Del mármol clásico a la talla policromada. Resemantización de una imagen el mundo clásico pagano en icono devocional Cristiano". In A. Cañestro (Ed.), *Estudios de escultura en Europa* (pp. 73-82). Alicante: Instituto Alicantino de Cultura.
- McDermott, W. (2018). The Comprehensive PBR Guide by Allegorithmic - vol. 1. Light and Matter: The theory of Physically-Based Rendering and Shading. Retrieved 5/04/2018 from <https://academy.allegorithmic.com/courses/b6377358ad36c444f45e2deaa0626e65>
- Mena Marqués, M. (1990). *Catálogo de dibujos. VII. Dibujos italianos del siglo XVIII y del siglo XIX*. Madrid: Museo del Prado.
- Maestre de San Juan, & Pelegrín, F. (1999). Semblanza histórica de los Hermanos Mayores de Nuestro Padre Jesús Nazareno durante el siglo XVIII. *Ecos del Nazareno*, XX, 4-11.
- Maestre de San Juan Pelegrín, F. & Montojo Montojo, V. (2004). Cofradías y capillas penitenciales de Cartagena y Murcia: corporativismo, liderazgo e integración a través de la religiosidad. *Murgetana*, 111, 47-67.
- Minto, S., & Remondino, F. (2014). Online access and sharing of reality-based 3d models. *SCIRES-IT - SCientific RESearch and Information Technology*, 4 (2), 17-28.
- Montojo Montojo, V. (2003). *Salzillo y las cofradías pasionarias de Cartagena*. Murcia: Real Academia Alfonso X el Sabio.
- Montojo Montojo, V., & Maestre de San Juan Pelegrín, F. (2009). La Cofradía de Nuestro Padre Jesús Nazareno de Cartagena. Contexto histórico y devenir de la cofradía en la Edad Moderna. In Negroles Sánchez, J. (ed.), *Actas del Tercer Congreso Nacional Advocación de Jesús Nazareno* (pp. 235-244), Cartagena: Marrajos.
- Ortiz Martínez, D. (1998). *De Francisco Salzillo a Francisco Requena: La escultura en Cartagena en los siglos XVIII y XIX*. Murcia: Asociación Belenista de Cartagena.
- Peña Velasco, C. (1992). *El retablo Barroco en la antigua Diócesis de Cartagena (1670-1785)*. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.
- Peña Velasco, C., García León, J., & Sánchez Allegue, P. (2017). Documentación, conservación y difusión de un retablo a través de la Geomática: el retablo barroco de la Iglesia de San Miguel en Murcia. *Revista e-rph*, 21, 67-90.
- Potenziani, M., Callieri, M., Dellepiane, M., Corsini, M., Ponchio, F., & Scopigno, R. (2015). 3DHOP: 3D Heritage Online Presenter. *Computers & Graphics*, 52, 129-141.
- Remondino, F. (2011). Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*, 3, 1104-1138.
- Rodríguez G. de Ceballos, A. (1992). Espacio sacro teatralizado: el influjo de las técnicas escénicas en el retablo barroco. In A. de la Granja et al. (Eds.), *En torno al teatro del Siglo de Oro* (pp. 137-154), Almería: Instituto de Estudios Almerienses.
- Stoichita, V. I. (1996). *El ojo místico. Pintura y vision religiosa en el Siglo de Oro español*. Madrid: Alianza.
- Torrance, K. & Sparrow, E. (1967). Theory for Off-Specular Reflection from Rough Surfaces. *Journal of the Optical Society of America*, 57(9), 1105-1114.
- Vincent y Portillo, G. (1889). *Biblioteca Histórica de Cartagena*. Madrid: Montegrifo.
- Yastikli, N. (2007). Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal Cultural Heritage*, 8 (4), 432-427.

Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel

Workflow for 3D digitization using photogrammetry of polychrome wood carvings of the Holy Christ of Blood and his angel

Rafael Melendreras Ruiz

Vicedecano del Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)

María Teresa Marín Torres

Profesora Titular en el Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Murcia y Directora del Museo Salzillo

Paloma Sánchez Allegue

BIM Modeler y Técnico en Transformación Digital en la empresa Drónica



Fecha de recepción: 5 de diciembre de 2019

Fecha de aceptación: 22 de noviembre de 2020

Resumen

En el presente artículo se muestra el caso del Santísimo Cristo de la Sangre, talla escultórica del titular de una de las cofradías más antiguas de España cuya historia, valor artístico y degradación estructural progresiva demandaban una intervención urgente.

También del ángel niño que recoge su sangre con un cáliz, permaneciendo aún desaparecidos tres de los cinco ángeles que originalmente le acompañaban. Este artículo pretende ser un ejemplo del potencial de la Fotogrametría para la digitalización 3D aplicada a la restauración y recuperación del patrimonio, así como para su salvaguarda. Se trata del primer proceso de esta metodología desarrollado en tallas de la Semana Santa en la Región de Murcia (España), y además de la ejecución técnica detallada de dicho proceso, el artículo se centra también en la validación del flujo de trabajo desarrollado, la verificación técnica de la calidad de los resultados obtenidos y en las futuras aplicaciones de los modelos 3D resultantes para su propietaria, la Archicofradía de la Preciosísima Sangre de Murcia.

Palabras clave: Patrimonio cultural. Semana Santa. Digitalización 3D. Fotogrametría. Structure from Motion. Modelos 3D. Preservación. Flujo de trabajo. Nicolás de Bussy.

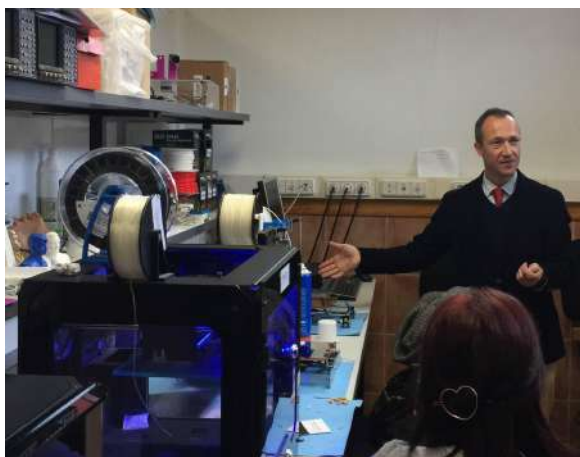
Abstract

This paper presents the case of the statue of Christ shedding his Sacred Blood, which is the head of one of the oldest brotherhoods in Spain whose history, artistic value and progressive structural degradation required urgent action. It also describes the study of the child angel who collects his blood with a chalice, while three of the five angels that originally accompanied him are still missing. This article aims to be an example of the potential of 3D digitalization for the restoration and recovery of heritage, as well as for its safeguarding. This is the first process of this methodology developed for the Easter Week sculptures in the Region of Murcia (Spain), and in addition to the detailed technical execution of the process, the article focuses on the validation of the workflow developed, the technical verification of the quality of the results obtained, and in the future applications of the resulting 3D models for the owner, the “Archicofradía de la Preciosísima Sangre” of Murcia.

Keywords: Cultural Heritage. Easter Week. 3D Scanning. Photogrammetry. Structure from

Agradecimientos

A la Junta Directiva de la Real, Muy Ilustre, Venerable y Antiquísima Archicofradía de la Preciosísima Sangre de Nuestro Señor Jesucristo de Murcia por la confianza depositada. A Bruno y Daniel Portillo, de la empresa Habitat Estudios Ambientales, S.L., por los conocimientos sobre fotogrametría transmitidos, tiempo y trabajo dedicados desinteresadamente a la obtención de los modelos digitales.



Rafael Melendreras Ruiz

Rafael Melendreras Ruiz es Doctor Ingeniero de Telecomunicaciones y Vicedecano del Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación de la UCAM. Su docencia se centra en los sistemas de telecomunicaciones, visión 3D y tecnologías para la digitalización. Su investigación versa sobre la TV Digital, la Innovación Tecnológica y las Tecnologías de la Comunicación aplicadas al Deporte, las Ciencias de la Salud y el Patrimonio. Además de ser autor de numerosas publicaciones científicas y estudios, ha participado en varios proyectos de investigación financiados por la Unión Europea y cuenta con una marca de investigación y dos patentes propias.

Contacto: rmelendreras@ucam.edu



María Teresa Marín Torres

María Teresa Marín Torres es Profesora Titular en el Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Murcia y directora del Museo Salzillo. Su docencia, líneas de investigación y publicaciones se han centrado en Museología, Patrimonio y arte Barroco, sobre los que ha organizado cursos y seminarios. Ha formado parte del equipo científico de varias exposiciones y ha comisariado algunas de ellas, como las llevadas a cabo en torno al Belén de Salzillo en Centro Cibeles en el Ayuntamiento de Madrid y en el Museo de Bellas Artes de Bilbao, así como la del Belén de los duques de Cardona (legado Medinaceli) en el Ayuntamiento de Madrid.

Contacto: mtmarin@um.es



Paloma Sánchez Allegue

Paloma Sánchez Allegue es BIM Modeler y técnica en Transformación Digital en la empresa Drónica. Es Ingeniera de Edificación especializada en digitalización 3D mediante las tecnologías del escáner láser, escáner de luz estructurada y fotogrametría aérea y terrestre para la obtención de modelos 3D de elevada calidad. Completa su formación académica con tres másteres relacionados con las nuevas tecnologías, la documentación digital del patrimonio arquitectónico y el BIM profesional. Es coautora de varias publicaciones de impacto internacional, relacionadas con la documentación 3D y la conservación del patrimonio a través de su virtualización.

Contacto: paloma.sanchez@dronica.es

1.- Introducción

Las imágenes pasionarias en España tienen un gran valor patrimonial material sobre las que se concitan, además, tradiciones de carácter inmaterial a veces de carácter centenario. Además de su gran valor histórico-artístico, que hace que en muchas ocasiones sean piezas de museo, tienen un uso devocional y siguen cumpliendo la función para la que fueron creadas, es decir, su salida en procesión en movimiento y en un escenario urbano (Hernández Redondo, 2012: 186).

La Semana Santa en España tiene una especial relevancia cultural, de ahí que se haya hablado en varias ocasiones de la necesidad de que sea declarada patrimonio cultural inmaterial en su conjunto. Ello sería complejo, debido a la gran variedad y riqueza de manifestaciones a lo largo y ancho de su geografía. Los desfiles procesionales siguen una tradición de siglos y son también manifestaciones populares de marcado sentido religioso, en cuyos cortejos se exhiben conjuntos escultóricos que recrean escenas de la pasión, muerte y resurrección de Jesucristo. Muchas de ellas están declaradas como de interés turístico internacional, existiendo también las categorías de interés nacional y regional.

Las cofradías, asociaciones con fines piadosos reconocidas por la Iglesia Católica e integradas por laicos, son las responsables de la organización de estos desfiles cuyo origen en algunos casos se remonta a varios siglos de antigüedad. Estas instituciones, en ocasiones también propietarias de las imágenes, que en muchos casos han sido declaradas Bien de Interés Cultural (BIC), suelen ser las responsables del cuidado y conservación del rico patrimonio artístico exhibido, una labor compleja, cara y no exenta de dificultades.

En Semana Santa es costumbre portar a hombros, o sobre el costado de nazarenos, pesados tronos sobre los que son ancladas estas tallas. Además, si estas son esculturas devocionales suelen participar a lo largo del año en otros eventos de culto como besapiés o besamanos, quinaros, misas de difuntos, etc. En ocasiones, más extraordinariamente, pueden ser invitadas a participar en exposiciones temporales. Otro aspecto de interés son las condiciones en las que las mismas son conservadas, bien guardadas en almacenes, bien expuestas en iglesias o museos para su visita pública. Además de la degradación natural que el paso del tiempo provoca sobre cualquier obra, la falta de una adecuada conservación preventiva, su exposición en condiciones no óptimas, su nociva manipulación, así como un desplazamiento y transporte incorrectos, suelen ser las principales causas que contribuyen a su progresivo deterioro y a la aparición de accidentes en su mayor parte por negligencia humana. Y, obviamente, el maltrato o agresión a las mismas son extremos indeseables que pueden llevar a provocar daños irreparables y hasta incluso su desaparición.

Por otro lado, nos encontramos con la problemática de la destrucción vandálica de las imágenes religiosas por cuestiones ideológicas, algo que sigue ocurriendo en la actualidad, como se ve en casos muy recientes como en la quema de las esculturas de la parroquia de la Asunción en las revueltas en Santiago de Chile en noviembre de 2019 o en la quema de la imagen del Nazareno de la ermita del Santo Sepulcro de Tauste (Zaragoza), en las mismas fechas. Es lo que ocurrió en España en la década de 1930, en las primeras revueltas anticlericales en la instauración de la Segunda República Española y durante la Guerra Civil. En muchos casos las imágenes se destruyeron para siempre,

aunque algunas fueron restituidas por escultores que, a partir de antiguas fotografías, pudieron recrear las imágenes. En algunas ocasiones quedaron algunos restos que pudieron reintegrarse en las nuevas esculturas en las que trabajaron muchos de estos artistas, en su mayor parte los más destacados en imaginería religiosa de la posguerra. Es el caso de la imagen del Cristo de la Sangre del escultor estrasburgués Nicolás de Bussy, una talla de 1693, de gran significación artística, que fue quemado y mutilado en 1936, pero que logró ser reconstruido por los escultores Juan González Moreno y José Sánchez Lozano. Una escultura que hoy en día sigue saliendo en procesión cada Miércoles Santo en Murcia, con gran devoción, y que su camarero, autorizado por la Archicofradía de la Preciosísima Sangre, ha querido preservar para la posteridad con nuevas técnicas de digitalización.

2.- Digitalización 3D, Patrimonio y Semana Santa

2.1. Digitalización 3D y aplicaciones al patrimonio cultural

La digitalización 3D ha supuesto una auténtica revolución en el ámbito del patrimonio cultural, abarcando a la totalidad de las disciplinas que éste abarca, y entre las que destacamos principalmente a la arqueología, la arquitectura, la escultura y la pintura.

El despliegue de las redes de banda ancha junto al desarrollo de la industria de los videojuegos, de la virtualización y de las tecnologías móviles e inalámbricas son las principales causantes de múltiples innovaciones tecnológicas que en la última década han permitido mejorar la calidad de la visualización y la optimización de modelos digitales tridimensionales. Paralelamente, el desarrollo electrónico ha permitido la mejora de los sensores de imagen, la creación de procesadores gráficos más potentes, sistemas de almacenamiento de estado sólido (SSD), la aparición de nuevas plataformas de captación -como los drones- o la evolución de las tecnologías de fabricación aditiva (impresión 3D). A todo ello, se suma la mejora de los algoritmos de cálculo (para la optimización del tiempo y del refinamiento del procesamiento de la información), el cloud computing, el desarrollo de plataformas virtuales para la exhibición de contenidos o el desarrollo de las Ciencias de Datos (*Data Science*) y las tecnologías para la predicción a través de redes neuronales como el Aprendizaje Máquina (*Machine Learning*).

El coste de la tecnología ha resultado ser siempre un condicionante importante para las empresas y los investigadores. La resolución de los modelos y el tiempo invertido en su obtención son parámetros clave que dependen directamente de la calidad y el precio de los sistemas hardware y software empleados para la captación y el procesamiento. En este sentido, la depuración del flujo de trabajo resulta ser un elemento clave para todos los proyectos, aunque de forma más especial para aquellos dotados con presupuestos más bajos.

Los procesos de digitalización pueden llevarse a cabo con y sin contacto con el objeto a digitalizar, y a través de sistemas pasivos y activos (Reljiç y Dunder, 2019: 95). Los sistemas con contacto consisten en sensores táctiles montados en brazos de medida. Por su parte, los sistemas sin contacto captan la información del objeto a distancia. La fotogrametría automatizada es la técnica sin contacto basada en sensores pasivos más empleada en la actualidad. Por su parte, los sistemas activos para reconstruir la geometría pueden proyectar patrones y/o capturar imágenes. Destacan por su calidad los escáneres

láser y los escáneres de luz estructurada, a los cuales se suman los escáneres volumétricos basados en técnicas de resonancia magnética. De la comparativa efectuada por Johnson (2016: 43) se extrae que los escáneres de luz estructurada son los más apropiados para capturar la textura, mientras que la fotogrametría precisa de procesos de captación y mecanismos de postproceso más largos y complejos.

Numerosos autores han enfocado su investigación a tratar de identificar las fortalezas y debilidades de cada una de estas tecnologías (Rodríguez, 2012: 110; Adel, 2013: 224). Por su parte, otros autores se centran en identificar la tecnología más adecuada en función del objeto a escanear (Budak, 2019: 837-844). En este sentido cabe destacar la importancia de conocer previamente en profundidad los materiales que constituyen la escultura para escoger la técnica más adecuada de digitalización.

Sin lugar a duda, las aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio cultural han puesto de manifiesto su potencial y motivado a industria e investigadores a un desarrollo tecnológico sin precedentes, cuyos resultados se traducen en proyectos espectaculares.

En el campo de la restauración estas soluciones abarcan desde la reconstrucción tridimensional de artefactos a partir de algunas de sus piezas (Merchán *et al.*, 2011: 8497-8518), la recreación original de monumentos (Clini *et al.*, 2017: 1-12), la de edificios emblemáticos (García León *et al.*, 2017: 67-90) y hasta incluso la fabricación y reemplazo de alguna de sus partes afectadas (Xu y Love, 2016: 85-96). Por su increíble potencial para la predicción, en reconstrucción 3D han comenzado a emplearse algoritmos basados en *machine learning*, que combinan múltiples fuentes de información (Kulikajavas, 2019: 1553).

Las aplicaciones centradas en educación trasladan al aula modelos tridimensionales originales o reconstruidos, que mediante impresión 3D (Kwan y Butler, 2018: 4-15) o plataformas virtuales (Johnson, 2016: 39-55; Garstki, 2017: 726-750) son presentados a los alumnos con un realismo sin precedentes contribuyendo sin duda alguna a la aceleración del conocimiento. Otras tecnologías como la realidad aumentada representan un salto cualitativo en la experiencia virtual de los usuarios (Portalés, 2009: 316-331). Paralelamente, las aplicaciones para exhibiciones y museos emplean también la realidad virtual para mostrar el patrimonio inaccesible (Nicolas, 2015: 265-277), la impresión 3D para evitar el, en ocasiones peligroso y costoso, traslado de originales (Urcia *et al.*, 2018: 317-332) así como para favorecer la accesibilidad a públicos con déficit visual a través de réplicas tocables (Jafri *et al.*, 2015: 55-61). La holografía es otra tecnología disruptiva apropiada para la proyección tridimensional de modelos digitalizados en exhibiciones y museos (Antlej *et al.*, 2011: 1-4).

2.2. Semana Santa y Digitalización 3D

Aún conscientes de la revolución digital en la que la sociedad se encuentra inmersa, y de las bondades que ésta conlleva consigo, la antigüedad y tradición de la mayoría de las cofradías de Semana Santa representa en muchos casos un freno importante a la hora de introducir procesos relacionados con la transformación digital en su día a día.

Si el debate de disponer de moldes y copias de seguridad físicas de sus principales tallas ya genera cierto recelo y polémica (Sánchez de los Reyes, 2019), el proceso de

digitalización 3D de las mismas, aun estando justificado, supone un auténtico paradigma que choca frontalmente con la forma de pensar de sus miembros más antiguos y con sus propios estatutos de funcionamiento.

A pesar de no encontrarse evidencias científicas sobre la digitalización del patrimonio cultural de la Semana Santa en España, los medios de prensa sí arrojan determinados proyectos de digitalización, pioneros, emprendidos a partir de 2012 por diferentes cofradías y hermandades en Andalucía y Castilla León, tal y como puede apreciarse en la [Tabla 1].

Las universidades de Granada (a través de su spin off AgeO) y Valladolid son dos de las impulsoras de esta tendencia digitalizadora, junto con empresas privadas del sector de la ingeniería como Sinecal Ibérica o Global Scan 3D. Paralelamente a éstas surgen otras, como es el caso de la andaluza 3D Artifex, especializadas en la fabricación de réplicas de tronos y pasos de la Semana Santa.

En la mayoría de los casos la digitalización efectuada se lleva a cabo empleando sistemas sin contacto de tipo activo, optando por escáneres láser, fijos y sobre brazo articulado, y escáneres de luz estructurada.

La única evidencia científica encontrada relacionada con la Semana Santa consiste en una publicación en la que el objetivo de la digitalización 3D es el retablo de una iglesia en el que se alojan esculturas que sí procesionan (García-León *et al*, 2018: 59-76). Finalizada la digitalización del retablo se efectúa una virtualización del mismo, para la cual y a fin de presentar una composición se generan modelos de baja resolución de dichas esculturas por lo que no son consideradas como el fin del proceso.

Es por ello por lo que puede afirmarse que el proyecto objeto de la presente publicación, del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel, posiblemente sea el primer artículo sobre digitalización 3D de Patrimonio de la Semana Santa en la Región de Murcia y en España.

| Fecha y lugar | Escultura | Autor | Tecnología | Fuente |
|-------------------------------|--|--|----------------------------------|--|
| 8/5/2012 Medina de Rioseco | Soberbio atado a la columna (Gremio Hermandad de Nuestro Señor de la Columna, La Flagelación) Dolorosa | Sinecal Ibérica (Diego Arce, Alberto Nieto) | Escáner láser (brazo articulado) | https://www.lavozderioseco.com/un-a-empresa-riosecana-escanea-en-3d-dos-pasos-de-semana-santa/ |
| ¿? | Plan digitalización SS (Yacente de Gregorio Fernández aprobada por Cofradía del Santo Entierro) | Andrés Álvarez (Universidad de Valladolid) | Sin confirmar | https://www.lavozderioseco.com/un-a-empresa-riosecana-escanea-en-3d-dos-pasos-de-semana-santa/ |
| 17/2/2015 Córdoba | Hermandad de la Misericordia en 2014. Santo Cristo de la Salud Hermandad del Vía Crucis (Córdoba) | Global Scan 3D (Jesús Rodero) | Escáner láser | https://sevilla.abc.es/andalucia/cordoba/semanasanta/20150217/sevi-escaneo-digital-imagenes-201502161915.html |
| 30/3/2016 | | 3D Artifex (Javier Pastor) | | Empresa creada en Málaga para hacer réplicas de pasos de SS. http://imprimalia3d.com/noticias/2016/03/29/005941/r-plicas-pasos-semana-santa-impresi-n-3d |
| 18/5/2016 Sevilla | Cristo de la Buena Muerte Hermandad de los Estudiantes de Sevilla | Portal Virtual del Patrimonio de las Universidades Andaluzas | Escáner laser | https://cadenaser.com/emisora/2016/05/18/radio_sevilla/1463575047_483743.html http://patrimonio3d.ugr.es/ |

| | | | | |
|--|---|--|--------------------------|--|
| | | (Proyecto Atalaya-Universidad de Granada) | | |
| 2/8/2018 Sevilla | Cristo del Desamparo y Abandono y Virgen de los Dolores de la hermandad del Cerro del Águila | Javier Melero (AgeO, UGR - Backup 3D) | Escáner Luz estructurada | https://sevilla.abc.es/pasionensevilla/actualidad/noticias/finaliza-la-digitalizacion-los-titulares-del-cerro-del-aguila-131820-1533118731.html |
| 1/12/2018 Murcia (Inicio en primavera de 2016) | Santísimo Cristo de la Sangre y su Ángel Archicofradía de la Preciosísima Sangre de Nuestro Señor Jesucristo de Murcia | Rafael Melendreras Bruno Portillo, Daniel Portillo (Habitat) | Fotogrametría (SFM) | http://www.coloraos.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1641:2019-02-01-18-08-27&catid=137:eventos-museo&Itemid=69 |
| 21/4/2019 Linares (Jaén) | Nuestro Padre Jesús de la Columna de Linares (Jaén) Hermandad y Cofradía de Nuestro Padre Jesús de la Columna y Nuestra Señora de la Amargura | Javier Melero (AgeO spin-off UGR) | Escáner Luz estructurada | https://www.ahoraleon.com/las-tallas-semana-santa-se-pueden-reproducir-3d-conservacion/ http://www.finanzas.com/noticias/economia/2011-04-06/460424_digitalizan-tallas-religiosas-semana-santa.html |
| 17/5/2019 Sevilla | Santísimo Cristo del Calvario y Nuestra Señora de la Presentación | Belén Jiménez Fernández | Escáner 3D | https://sevilla.abc.es/pasionensevilla/actualidad/noticias/calvario-hara-estudio-3d-titulares-130810-1531085532.html |
| 11/9/2019 Sevilla | Santísimo Cristo del Buen Fin y Nuestra Señora de la Palma | Javier Melero (AgeO - UGR) | Escáner Luz estructurada | https://sevilla.abc.es/pasionensevilla/actualidad/noticias/el-buen-fin-digitaliza-en-3d-a-sus-dos-titulares-155322-1568232819.html |

Tabla 1. Noticias sobre proyectos de digitalización 3D de tallas de Semana Santa en España a septiembre de 2019 (Fuente: Elaboración propia. [Consultas: 14.09.2019]).

3.- La escultura: El Cristo de la Preciosísima Sangre

3.1. Un *unicum* de un maestro de la escultura

La imagen sobre la que se sustenta este estudio fue realizada por uno de los escultores más importantes de finales del siglo XVII que trabajó principalmente en el Levante español y sobre el que se siguen descubriendo nuevos datos sobre su enigmática vida (Buchón, 2000; López Azorín y Sánchez-Rojas, 2004; Sánchez-Rojas *et al*, 2005; Alonso Moral, 2006; Iniesta y Belda, 2006). Uno de los primeros biógrafos de Nicolás de Bussy (Estrasburgo, ca. 1640 – Valencia, 1706), fue el pintor y tratadista Antonio Palomino que lo consideró miembro de un selecto grupo que llegó a la corte de Carlos II con don Juan José de Austria, noticia aún no constatada. Lo que sí se sabe con seguridad es que en 1662 se instaló en Valencia y que entre 1678 y 1679 estuvo trabajando en el Real Sitio de Aranjuez. Durante su etapa murciana (1688 - 1704) realizó una de sus obras cumbre, el Cristo de la Sangre.

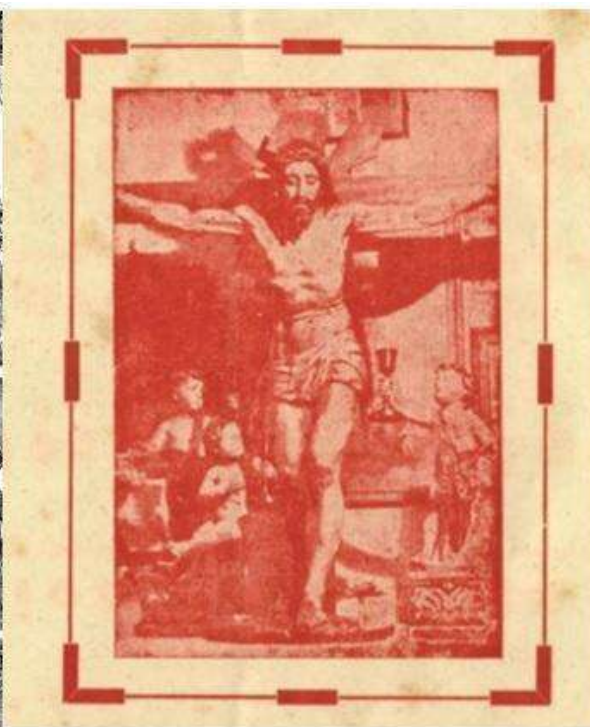
Esta impactante imagen es la titular de la Real, Muy Ilustre, Venerable y Antiquísima Archicofradía de la Preciosísima Sangre, fundada en el año 1411 por seguidores de San Vicente Ferrer en la ciudad de Murcia. En contraposición a los frailes carmelitas, que reclamaban un crucificado como titular, los laicos responsables de la Cofradía realizan el encargo de una nueva talla en 1688 al escultor Nicolás de Bussy, quien lo termina en 1693 (Baquero, 1913; Sánchez Moreno, 1943; López, 1963; Sánchez-Rojas, 1982; Gómez Piñol, 2003). Una escultura de dimensiones 140x140x56cm y realizada en madera de ciprés policromada con aceites secantes a la que dota de ojos de cristal y pelo postizo natural para conferir de un mayor dramatismo, efecto que acrecentaba el amable semblante de cinco ángeles niños que lo acompañaban (especialmente el de aquél que recoge el hilo de sangre que cae del costado de la lanzada) así como su iluminación natural

mediante velas (Bernal et al., 2004: 10-11). En su interior se descubrió una cédula deprecatoria, una íntima oración a la que titula “Memorial”, encontrada por Juan González Moreno en 1936 y publicado su contenido posteriormente por Sánchez Moreno (Sánchez Moreno, 1943: 139-140), lo que acrecentó la visión atormentada y mística del escultor tan acorde con ideales de perfección cristiana de la Contrarreforma (Belda y Hernández, 2006: 265-266).

Considerada un “unicum” en la imaginería pasionaria española, representa un antiquísimo tipo iconográfico de origen medieval “Cristo en el Lagar Místico”, ampliamente difundido en Europa por las cofradías de viticultores (p.ej. en regiones como Alsacia de la que Bussy era oriundo), que contaba con abundantes representaciones en grabados, luego llevados a la pintura y que se retomaban en el período de la Contrarreforma por su clara alusión a la Eucaristía (Luna, 2010: 268). Inspirada posiblemente en la Xilografía “La Gran Crucifixión” [Ilustración 1a] de Alberto Durero en 1516 (López, 1972: 199; Gómez Piñol, 2003: 40), la talla es definida como “nuevo Atlas” (Ramallo, 2003: 61) y supone una innovación por representar a un Cristo clavado exclusivamente por el brazo corto de la cruz, la cual carga caminando hacia el camino de la salvación. Considerada un magnífico estudio anatómico y de dinámica, en donde la sangre-vino, símbolo de la redención, extraída de su cuerpo-vid, era recogida por cinco ángeles niños en cálices. Gracias a antiguas fotografías [Ilustración 1b] (Alcántara, 2019: 93-94) y las descripciones de Díaz Cassou (1897: 141-142) y Javier Fuentes y Ponte (1882: 12 y 1884: 36-37) conocemos cómo era la escultura antes de su destrucción durante la Guerra Civil.



1a



1b

Ilustración 1a. Xilografía “La Gran Crucifixión” de A. Durero en 1496 (Fuente: <https://www.reprodart.com/a/alberto-durero/largecrucifixiondrec1496.html>) [Consulta: 14.09.2019]. Ilustración 1b. Cartel de cultos de 1941 (Fuente: Archicofradía de la Sangre)

3.2. La fatalidad de la Guerra Civil

La tercera década del siglo XX castigó a España con dos tristes episodios de destrucción del patrimonio, la proclamación de la República en 1931 y la Guerra Civil Española entre 1936 y 1939. La miseria y el alto grado de analfabetismo provocaron que determinados grupos sociales que vinculan a la Iglesia con el poder económico cargasen contra ella y sus símbolos como objetivos de venganza y barbarie. Mientras que el patrimonio arquitectónico fue el que más se resintió en 1931, los ataques iniciados en 1936 se centraron más en el escultórico, por entenderse a las imágenes como “contenedores de la divinidad” (Ruiz, 2015). Sobre este “periodo apasionante y decisivo” para el estudio del patrimonio, como lo ha calificado Arturo Colorado, se está investigando en estos últimos años (Colorado, 2018: 19). Fueron momentos decisivos que bascularon entre la destrucción y la protección de los bienes culturales, con operaciones tan titánicas como la del éxodo del Museo del Prado.

Pero en muchos casos, los esfuerzos por salvaguardar el patrimonio artístico, como fue el del perteneciente a la Iglesia, fueron insuficientes, resultando dañadas y destruidas multitud de valiosas obras. En el caso particular de Murcia, la Junta de Incautación del Patrimonio, formada por un reducido número de hombres, “de extraordinaria competencia y, sobre todo, de una capacidad que hoy nos resulta sobrehumana” (Tusell, 2003: 19), no llegó a tiempo para salvar al Cristo de la Preciosísima Sangre que fue “brutalmente destrozado, con grandes pérdidas de soporte y grietas” (Bernal *et al.*, 2004: 12). El escultor Clemente Cantos recogió los treinta pedazos en los que fue desgajado el cuerpo, y que se confiaron al escultor Juan González Moreno, quien con maestría lo recompuso, para llevarlo el 5 de septiembre de 1936, sin cabeza, al Museo Provincial. El agravamiento del conflicto provocó que de nuevo se trasladase a la Catedral el 19 de diciembre de 1937. En la imagen de la izquierda de la [Ilustración 2a] puede apreciarse la cabeza, que fue recuperada el 20 de octubre de 1939, identificada por la Junta del Tesoro Artístico de Murcia tras serle entregada por el párroco para la *Exposición de Arte Murciano Mutilado*, sin nariz, carbonizada y objeto de juego por niños en las calles. Tras la contienda, el escultor José Sánchez Lozano fue el encargado de restaurar la talla, así como del repolicromado de la cabeza y su adaptación al cuerpo, trabajos que junto al cierre de la caja en la espalda [Ilustración 2b] para el anclaje a la cruz finaliza con éxito en 1941.



Ilustración 2a, 2b y 2c. Imágenes de los destrozos acaecidos en 1936 sobre la talla del Cristo y en los dos ángeles incautados (Fuente: Alcántara, 2010: 90-95).

Por aportar mayor dramatismo a la tragedia, de los cinco niños ángeles originales esculpidos por Bussy para acompañar al Cristo, algunos de ellos confiados a personas de confianza, sólo se encontraron dos, dañados, que permanecían en el Museo Provincial. El mejor conservado, situado en la derecha de la [Ilustración 2c], fue restaurado por Sánchez Lozano para ocupar el puesto del titular, desaparecido (Alcántara, 2019: 94). La situación de los restantes, presuntamente en poder de particulares, fue investigada en profundidad por el académico José Crisanto López Jiménez (López, 1973; López, 1976).

3.3. Intervenciones sobre la obra

A pesar del exquisito trabajo llevado a cabo por los escultores González Moreno y Sánchez Lozano, los grandes desperfectos estructurales evolucionan a consecuencia del movimiento y manipulación de la talla. Las primeras intervenciones, de carácter puntual y centradas en efectuar pequeños repintes, así como para corregir desgastes en la policromía y excesos de barnices, no paliaron su deterioro progresivo, patente en la apertura de grietas.

Con motivo de la selección de la talla para su exhibición en el pabellón de Murcia durante la Exposición Universal de Sevilla en 1992 (Expo'92), se sometió un año antes a una intervención importante en la que se introdujo una varilla metálica para la fijación de la pierna derecha, en donde se encuentra la grieta más importante. También se reforzó la unión del brazo izquierdo mediante la inserción de nuevas espigas de madera y se aprovechó para eliminar repintes alterados y reintegrar lagunas. Años más tarde, entre 2003 y 2004 se llevó a cabo en el Centro de Restauración de la Región de Murcia una completa intervención y un estudio en profundidad haciendo uso de numerosas técnicas de análisis no intrusivo (visión UV, rayos X, endoscopia) e intrusivo a través de la extracción de carnaciones y su análisis posterior (microscopías óptica y electrónica, cromatografías y espectrografías) (Bernal *et al.*, 2004: 14-23).

Las principales conclusiones arrojaron la autenticidad de la cabeza, verificaron el alcance de las intervenciones anteriores y confirmaron la delicada conservación de la talla, cuya fragilidad y deterioro son muy elevados como consecuencia del maltrato al que fue

sometida al estallar la Guerra Civil española, por lo que su valor si cabe, es aún mayor por el hecho de sobrevivir a la barbarie.

3.4. Movimientos de la talla

El Cristo de la Preciosísima Sangre desfila en procesión cada año el Miércoles Santo por la tarde-noche, portado a hombros de veintiséis nazarenos estantes que recorren el centro la ciudad de Murcia durante unas cuatro horas.

Además de esa efeméride, para la cual es bajado “a brazos” del altar de su capilla y subido a su trono, es también otras tantas veces trasladado intramuros en su sede, la Iglesia arciprestal del Carmen, con motivo de determinados cultos como son: el Quinario de la Cofradía (cinco días seguidos de cultos en su honor) y el Ejercicio de las Llagas (una misa especial en la que se veneran las cinco llagas por las que se derrama su sangre). La imagen tiene culto diario por parte de los fieles y es una de las piezas más importantes que se conservan en el Museo de la Sangre de Murcia. Se ha prestado para alguna muestra temporal, como la Expo'92 de Sevilla o la exposición monográfica de Nicolás de Bussy en el Centro Almudí del Ayuntamiento de Murcia en 2003. Por su parte, ha desfilado en procesión de forma extraordinaria en 2004, con motivo de su restauración, y en 2011, por el sexto centenario de la Archicofradía de la Sangre.

Todos estos movimientos, aun realizados con el mayor de los cuidados, contribuyen a su deterioro por las causas anteriormente expuestas. Entre todos ellos, la salida en procesión es lo que produce una mayor degradación por los bruscos movimientos a los que se somete a la talla durante los aproximadamente tres kilómetros del desfile, especialmente en los arranques- levantadas y en las paradas-bajadas (<<https://www.youtube.com/watch?v=Fgsnhe-epwQ/>>. [Consulta: 10.06.2019].).

Por lo anteriormente expuesto, queda patente que el ya de por sí sobre acelerado ritmo de degradación de esta frágil talla se agrava aún más con su tradicional salida en procesión, poniendo en riesgo su integridad y supervivencia. La solución a este problema no es sencilla, aunque lo prudente es tratar de protegerla. Ante esta situación, se plantea efectuar una digitalización 3D de alta resolución de la talla, que contribuya a la profundización en el análisis de la estructura y sus deformaciones, y a su vez permita, en caso de ser necesario, la reproducción parcial o total de la talla, tanto de su geometría (volumen tridimensional) como de su textura (color original).

4.- Descripción del Flujo de Trabajo del Proceso de Digitalización

El proceso de digitalización se divide principalmente en dos fases bien diferenciadas, primeramente, la adecuación del entorno y toma de datos, y segundo, el procesado de la información digital.

4.1. Adecuación del entorno y toma de datos

4.1.1. Análisis del entorno para la adquisición de información digital

El Cristo de la Sangre se encuentra expuesto permanentemente al culto en su capilla, la de la Campana, un local espacioso, aunque oscuro, anexo al edificio principal de la iglesia, y situado entre ésta y el Museo de la Archicofradía.

Su talla y la del ángel se encuentran elevadas sobre un trono, de forma que no son accesibles. Además, los barnices aplicados a la policromía de dichas esculturas presentan una importante reflexión a la luz directa.

Es por ello por lo que para la adquisición digital de información será imprescindible bajar las esculturas al suelo y emplear sistemas de iluminación que respetando el color original de las tallas minimicen el brillo reflejado por éstas, a la vez que las sombras proyectadas por las mismas.

4.1.2. Selección de la tecnología para la digitalización 3D

Las deficientes condiciones de iluminación de la capilla y la importancia de la adquisición del color y los detalles de la policromía, es decir, de la textura, invitan a desarrollar el proceso de digitalización a través de la tecnología de escaneado mediante luz estructurada. Sin embargo, a la fecha de inicio del proyecto, en la primavera de 2016, se detecta una baja oferta de alquiler de estos equipos a la vez que presentan un coste sumamente elevado e inabordable, aspecto que nos llevó desde el inicio a apostar por la fotogrametría, una técnica más compleja, aunque no por ello menos precisa, que requiere de conocimientos avanzados de óptica, fotografía, iluminación, procesamiento de imagen y edición digital (Lerma *et al.*, 2011: 109).

Una buena definición de fotogrametría es la recogida en su segundo estatuto por la Sociedad Internacional para la Fotogrametría y la Teledetección (ISPRS) que la define como “*la ciencia y la tecnología de la extracción de información geométrica tridimensional y temática fiable, a menudo a lo largo del tiempo, de objetos y escenas a partir de datos de imágenes y toma de datos*” (ISPRS, 2016).

4.1.3. Planificación temporal

En contra de lo deseado, el proceso de adquisición de imágenes y toma de datos se dilató excesivamente en el tiempo, aproximadamente 1 año, por varios motivos. En primer lugar, en cada sesión de trabajo el tiempo era muy limitado, en torno a 3 ó 4 horas, debido a que la talla solo podía manipularse por personal autorizado por la Cofradía. El entorno de digitalización, restringido a la capilla del Cristo, requirió de sesiones preliminares para el estudio de la iluminación óptima de las tallas. Este proyecto no representaba un encargo profesional, sino un reto personal asumido por personal investigador vinculado a la Cofradía. La moderada experiencia del equipo con la técnica de fotogrametría aplicada a escultura, forzó a planificar 2 sesiones de trabajo adicionales para subsanar o recoger mayor cantidad de información que aportara al modelo la calidad mínima requerida, y que se fijó inicialmente en ser capaces de describir detalles de la geometría con una resolución mínima de al menos 500 micras.

Bajo esta premisa, y al objeto de someter la talla al menor movimiento y manipulación posible, algunas de las sesiones trataron de sincronizarse con las ocasiones en que ésta era bajada del trono ubicado en su capilla, con motivo de cultos extraordinarios (Quinario

y Ejercicio de las llagas) y de la Semana Santa, y fuera del horario de su culto por parte de los fieles. Estas tomas de datos fueron realizadas en períodos de tiempo distanciados aproximadamente 3 semanas, a excepción de las destinadas a la toma de datos del ángel, más accesible y que no requerían de la participación de personal especializado.

4.1.4. Captación de imágenes

La clave para efectuar un proceso fotogramétrico preciso es la obtención de múltiples fotografías de alta calidad del objeto que se pretende digitalizar siguiendo un protocolo o patrón preestablecido, desde múltiples ángulos y alturas.

A tal fin, la calidad de las imágenes es de gran importancia, por lo que es conveniente emplear ópticas muy luminosas, focales fijas, además de sensores de gran resolución (megapíxeles) y tamaño, aspecto este de gran importancia para optimizar la calidad de la textura del modelo. Paralelamente, resulta fundamental el uso de sistemas de iluminación adecuados para preservar el color natural del objeto y evitar la aparición de brillos y sombras, fenómenos indeseables que ocultan en el fotograma la información real del objeto que pretendemos captar. Otros aspectos sumamente recomendables son emplear formatos RAW, diafragmas cerrados y velocidades altas de disparo para incrementar la nitidez del enfoque, así como valores bajos de ISO para minimizar el ruido en el procesado posterior.

En nuestro caso para obtener la resolución deseada los cálculos aconsejaban obtener aproximadamente un 75-80% de superposición entre fotogramas, lo cual equivale a efectuar 64 tomas por rotación, distanciadas 5 grados, y a 6 alturas diferentes. Los brazos, extendidos, requerirían de tomas adicionales que serían incorporadas en bloques de procesado (*chunks*) distintos que posteriormente se orientarán y fusionarán al resto del cuerpo.

La obligación de desarrollar las sesiones de adquisición de imágenes ‘in situ’, en la capilla del Cristo, resultó ser una tarea compleja. Por dicho motivo se diseñaron diferentes herramientas que facilitasen dicha labor para ahorrar tiempo y minimizar el error en el posicionamiento de las cámaras. Concretamente se construyeron peanas giratorias regladas con desplazamiento manual, combinando su uso con el de trípodes profesionales y sistemas de chroma key para homogeneizar los fondos [Ilustración 3a]. Para mejorar la adquisición de imágenes de brazos y manos se hizo uso de soportes deslizantes de tipo travelling [Ilustración 3c]. Además, para mejorar el escalado se emplearon barras como las utilizadas en Paleontología que fueron ubicadas sobre la base de la escultura [Ilustración 3b]. En este sentido cabe mencionar que fue preciso definir varias configuraciones de iluminación, en función de la zona del cuerpo a fotografiar, del tipo de soporte empleado para la cámara y del uso o no de la peana de giro.

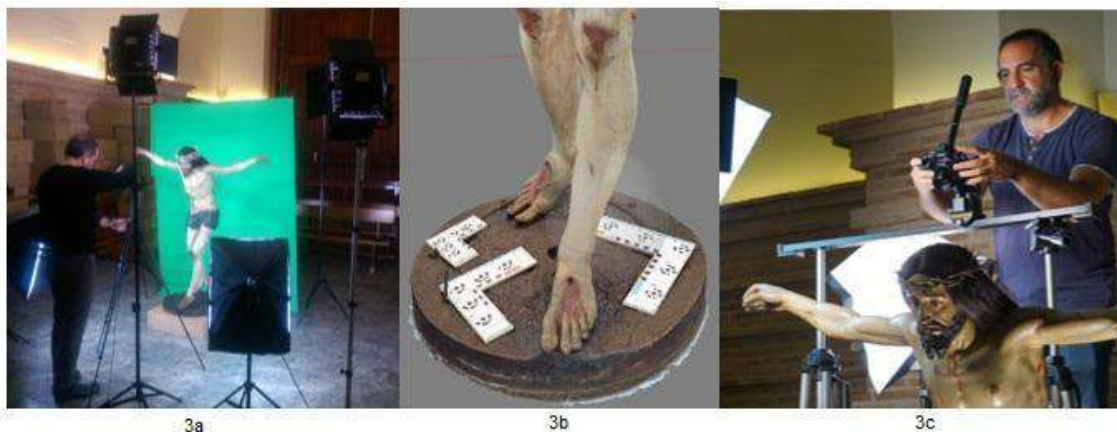


Ilustración 3a. Set de fotografía desplegado para la captación de imágenes (Fuente: Elaboración propia). Ilustración 3b. Detalle de las barras de escala empleadas (Fuente: Elaboración propia). Ilustración 3c. Fotografiado de los brazos empleando un soporte de tipo *travelling* (Fuente: Elaboración propia).

En el caso del Cristo fueron finalmente empleadas un total de 1137 fotografías, por 71 del ángel. Las principales causas de tal desproporción se deben, además del tamaño, a las dificultades encontradas en la iluminación de las manos del Cristo, que requirieron de cuatro sesiones de trabajo adicionales y numerosas tomas [Ilustración 3c]. Con carácter general el proceso de captación debido a que la peana era giratoria se efectuó fijando la iluminación y la posición de la cámara. Mientras que, en las zonas del rostro y las manos, se modificó la iluminación y la posición de la cámara era móvil a través del soporte.

A este respecto conviene destacar que el fin principal de preservación patrimonial nos llevó a decidir la eliminación de elementos del conjunto como la cruz o el cáliz, así como la corona, el pelo o el cordón de sangre. Dichos elementos no forman parte de la geometría de la talla y, hasta incluso por su textura y brillos habrían supuesto problemas adicionales.

En lo que a óptica se refiere, se apostó por un cuerpo Sony Alpha 7R® con un objetivo Sony SEL50F1.8 de distancia focal fija 50mm. La resolución escogida fue la máxima del sensor de la cámara, 36.4 Megapíxeles en formato RAW, siendo el pitch o tamaño de píxel de 4,88µm. Para la iluminación se emplearon focos halógenos y LED, ajustados a 5500K de temperatura (luz fría) para preservar las tonalidades de la policromía, y a los que se acoplaron difusores para tratar de minimizar los brillos.

4.2. Procesado de la información digital

4.2.1. Enmascaramiento de las imágenes

Tras la captación fotográfica, se efectúa el calibrado de la cámara en el software fotogramétrico, esto es, la declaración de las características principales del sensor/es (marca, modelo, tamaño en píxeles, etc.) y de la óptica empleada (distancia focal). Por su versatilidad y robustez, el software escogido fue Agisoft Photoscan Professional®, en su versión 1.4.5.

A continuación, y tras su ingesta en el software fotogramétrico, en ocasiones puede ser recomendable llevar a cabo el enmascaramiento de las imágenes [Ilustración 4a], es decir, la eliminación del fondo en cada una de las fotografías, con el fin de quedarnos solamente con la información que nos interesa para la generación del modelo 3D. En nuestro

proyecto decidimos hacer uso del mismo. Para facilitar dicha operación, la cual se llevó a cabo mediante el mismo software fotogramétrico, durante el proceso de toma de imágenes se hizo uso de fondos de tipo chroma key, debido a que por su elevado contraste facilitan esta operación de discriminación.

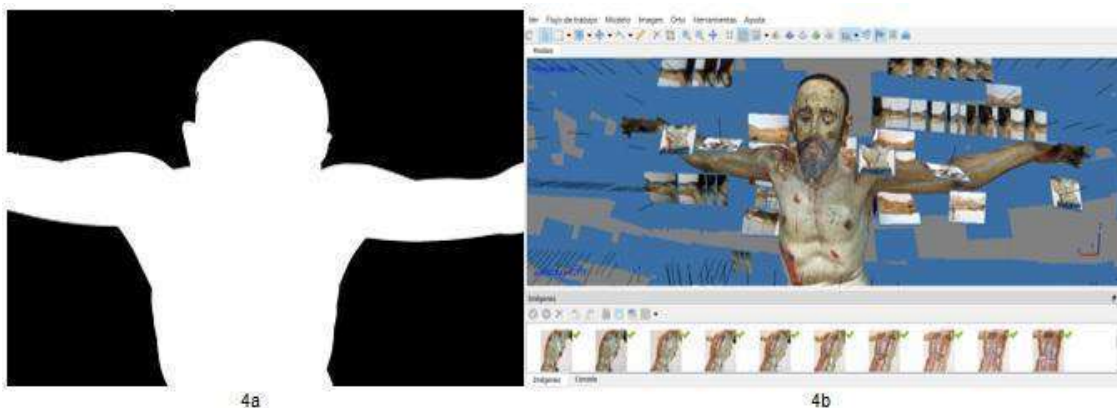


Ilustración 4a. Ejemplo del enmascaramiento de una fotografía frontal del Cristo. (Fuente: Elaboración propia).
Ilustración 4b. Constelación de fotografías captadas en torno al objeto a modelar. (Fuente: Elaboración propia)

4.2.2. Alineamiento de las imágenes

Finalizado el enmascaramiento, el proceso fotogramétrico requiere del alineamiento de las imágenes [Ilustración 4b], operación mediante la que se calcula la posición exacta desde la que fue tomada cada una de las fotografías durante la captación.

Este proceso depende en gran medida de la nitidez de las imágenes y resulta crucial debido a que todos los cálculos que posteriormente se llevarán cabo dependen de la precisión de esta operación de calibrado.

4.2.3 Inserción de marcadores

Los marcadores aportan un sistema complementario de referenciación al del calibrado, que ayuda a los algoritmos incorporados por el software fotogramétrico a correlacionar con mayor precisión los píxeles coincidentes en imágenes distintas. En el caso del Cristo, finalmente se introdujeron 14 marcadores artificiales de forma manual en el proyecto final del Cristo, coincidiendo con puntos de las barras de escala y ninguno natural. A partir de éstos fueron definidas 4 medidas de distancia para dotar de mayor consistencia al escalado del modelo. En el caso del ángel, la toma de datos fue anterior y no se introdujeron marcadores, arrojando afortunadamente un modelo proporcionado, aunque desescalado, razón por la que sí fueron empleados en la talla del Cristo.

4.2.4 Obtención de la nube de puntos “dispersa”

Llegados a este punto, se dan las condiciones para efectuar mediante Agisoft Photoscan®, un procesado preliminar mediante el que obtendremos la denominada “nube dispersa” [Ilustración 5a], una colección reducida de los puntos que conformarán la estructura básica del volumen 3D perseguido. Es muy importante señalar que el número de operaciones que es preciso llevar a cabo para ejecutar estos algoritmos de procesamiento fotogramétrico, debido a la resolución y cantidad de imágenes que puede contener cada modelo, requiere del uso de ordenadores de muy altas prestaciones

(<<http://www.agisoft.com/downloads/system-requirements/>>. [Consulta:11.11.2018]). En función de la configuración hardware disponible el procesamiento global de un modelo 3D complejo, como es el caso que nos ocupa, puede llegar a durar días.

En nuestro caso la configuración empleada integraba un procesador Intel Core i7 de 8ª generación, 16GBBytes de memoria RAM, un disco duro SSD de 500GBBytes y una tarjeta gráfica Geforce de 8Gbytes de la marca Nvidia ®.

Tras la obtención de esta nube o contorno 3D primario de nuestro objeto, es fundamental detenerse a analizarla en detalle, con el fin de identificar posibles errores que normalmente se muestran como puntos divergentes o inconexos con el contorno tridimensional deseado. Este análisis debe ser muy exhaustivo, hasta el punto de que si la planificación no se efectúa correctamente podría llegar a ser necesario repetir parcial o totalmente el proceso fotográfico si su forma difiere del objeto original o si su densidad de puntos es muy baja.

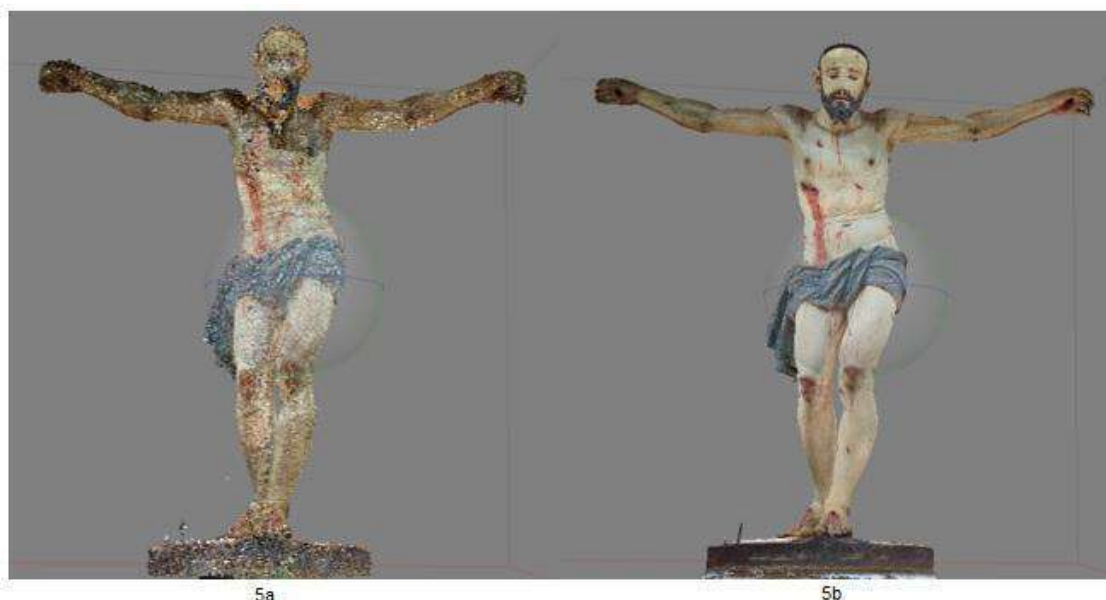


Ilustración 5a. Detalle de la nube dispersa de puntos del modelo 3D del Cristo. (Fuente: Elaboración propia) Ilustración 5b. Nube densa obtenida para el modelo 3D del Cristo. (Fuente: Elaboración propia)

Por desgracia, esto ocurrió en varias ocasiones con las manos del Cristo, debido a su tonalidad oscura y a la complejidad para conseguir iluminar de forma homogénea las mismas, debido a que están cerradas en garra. Se intentó mejorar tratando de insertar marcadores naturales, pero sólo mejoras en la iluminación y en la planificación de las tomas fotográficas en sesiones adicionales resultaron ser útiles para incrementar la calidad del proceso.

La nube dispersa del Cristo constó de 682.281 puntos, mientras que el total de fotografías empleadas finalmente para su generación fue de 1137. En el caso del ángel, al tratarse de una imagen más pequeña y más sencilla, por el nivel de detalles incluidos, la nube dispersa integró definitivamente 71.093 puntos y bastaron 71 fotografías para caracterizar completamente a la misma. El tiempo necesario para procesar la nube dispersa del Cristo fue de 1 hora y 13 minutos, mientras que para el ángel fueron necesarios 14 minutos y 7 segundos.

4.2.5. Obtención de la nube de puntos “densa”

La depuración de la calidad de la nube dispersa es el paso previo fundamental de cara al proceso más crítico de la digitalización, la generación de la “nube densa”.

Además de la selección manual de puntos y su borrado o exclusión, otros ajustes de gran ayuda son los integrados en la opción de selección gradual, entre los que se incluye el error de reproyección, la incertidumbre de la reconstrucción, el número de imágenes a emplear y la precisión de la proyección.

La nube densa es el resultado de realizar un procesado en profundidad de todas las fotografías válidas y los marcadores, para, a partir de la información de sus píxeles, efectuar una extracción masiva de nuevos puntos que refuercen a los de la nube dispersa para generar el volumen definitivo. Para ello, es preciso definir previamente el nivel de calidad final o resolución deseado -densidad de puntos-, si se desea usar la información de color –en caso de que nos interese la textura del objeto- y el nivel de profundidad del filtrado -grado de detalle en los relieves-.

Por las dimensiones del Cristo y las dificultades encontradas en las manos, se planificó la toma de datos y el procesado por bloques. Concretamente se crearon tres bloques: cuerpo, brazo derecho y brazo izquierdo. Las diferencias entre los bloques y la distancia variable entre cámara y objeto en diversas tomas nos llevaron a emplear el método de alineación basado en marcadores para la orientación de los mismos y la fusión de las nubes de puntos, descartando la basada en puntos o en cámaras.

En el caso particular del Cristo, debido a la cantidad y calidad del proceso fotográfico y de la nube dispersa, se apostó por una calidad media y un filtrado agresivo, sin comprometer en exceso la capacidad del hardware empleado para el procesamiento de la información. La nube densa de puntos generada finalmente es de 49.845.771 puntos, que además de su posición nos aportan información de color. En la [Ilustración 5b] se muestra una captura de la nube densa de puntos obtenida.

En el caso del ángel, se apostó por una calidad extra alta y un filtrado agresivo, cuya consecuencia principal fue el incremento a 41.109.149 de puntos en su nube densa.

En lo que a tiempos de procesado se refiere, la obtención de la nube densa del Cristo consumió 18 horas y 28 minutos, mientras que la del ángel tuvo una duración de 7 horas y 56 minutos con el hardware previamente descrito.

4.2.6. Generación de la malla

El siguiente paso hacia el modelo 3D consiste en la triangulación, en procesar los puntos de la nube densa para generar caras de polígonos que conformen una “malla”. A mayor número de caras, mayor definición de los detalles. Sin embargo, también es un error emplear una alta densidad de polígonos en zonas con poco relieve, pues supone un desperdicio de recursos y un aumento del coste computacional y del tamaño en bytes del modelo. En nuestro caso, para una reconstrucción óptima de la malla de objetos cerrados de tipo escultura (estatua), Agisoft recomienda emplear como fuente la nube densa de

puntos, definir la superficie como de tipo arbitrario, emplear interpolación y acotar el número máximo de caras o polígonos del modelo a generar para controlar el tamaño final del modelo y los bytes consumidos por el archivo a generar. La opción de cálculo de color de los vértices es fundamental si se quiere generar la textura tras la malla.

En nuestro modelo final del Cristo de la Sangre la malla 3D contiene 9.969.154 polígonos o caras, por 2.000.000 en el caso del ángel. En lo que a vértices se refiere, el modelo del Cristo presenta un total de 4.986.103, mientras que el ángel posee 1.002.367. Un aspecto de suma importancia es que paralelamente a dicha malla ha de generarse a partir de la información de color de los puntos de la nube densa una capa a la que viene a denominarse la textura, y que es la que superpuesta otorga a cada polígono que la compone de la información de brillo y color que le corresponde. En resumen, la malla es la información de la geometría de la escultura, mientras que la textura es la policromía aplicada sobre la misma que proporciona finalmente el aspecto final al objeto tridimensional.

En la [Ilustración 6] se presenta un ejemplo del mallado del modelo 3D del Cristo. Se aprecia claramente la densidad de polígonos o caras y la disposición de éstos es diferente en función del relieve de la zona.



Ilustración 6. Detalle de la malla en la parte anterior del pie derecho del Cristo. (Fuente: Elaboración propia).

4.3 Edición y Retoque 3D

Obtener un modelo 3D perfecto mediante un software de fotogrametría es una labor complicada, que no depende de la técnica sino de la complejidad geométrica del objeto a

digitalizar. Esto equivale a la misma idea de obtener una copia perfecta tras el desmoldeo de una pieza de barro cocida en un horno.

Una vez obtenido el modelo 3D del software fotogramétrico toca efectuar una revisión del mismo mediante un software de edición 3D, debido a que por regla general la malla puede contener imperfecciones, algunas de ellas a priori imperceptibles, que es preciso optimizar sin que ello desvirtúe la fidelidad del proceso efectuado previamente.

Para la edición digital se escogió el software Adobe Mexmisher ®, debido a su potencia de cálculo, gama de herramientas y versatilidad para el trabajo con mallas 3D de una gran variedad de formatos, y a su gratuidad en el momento del trabajo.

En primer lugar, este proceso suele consistir fundamentalmente en efectuar un análisis estructural de la malla en busca de inconsistencias. Esta operación es muy importante de cara a la transformación de la misma en un sólido, al objeto de efectuar reproducciones del modelo 3D.

Posteriormente a dicho análisis es preciso intervenir en la malla para solventar los problemas detectados. Para ello son necesarias precisas herramientas para el relleno y pulido de huecos, así como el recorte de bordes e imperfecciones en los extremos de la imagen. En algunos casos, como en las manos del Cristo, fue preciso aplicar herramientas avanzadas de atracción, [Ilustración 7] mediante las cuales se adapta la malla a la forma de un sólido perfecto en zonas en donde el procesado fotogramétrico no ha actuado con toda la precisión deseada.

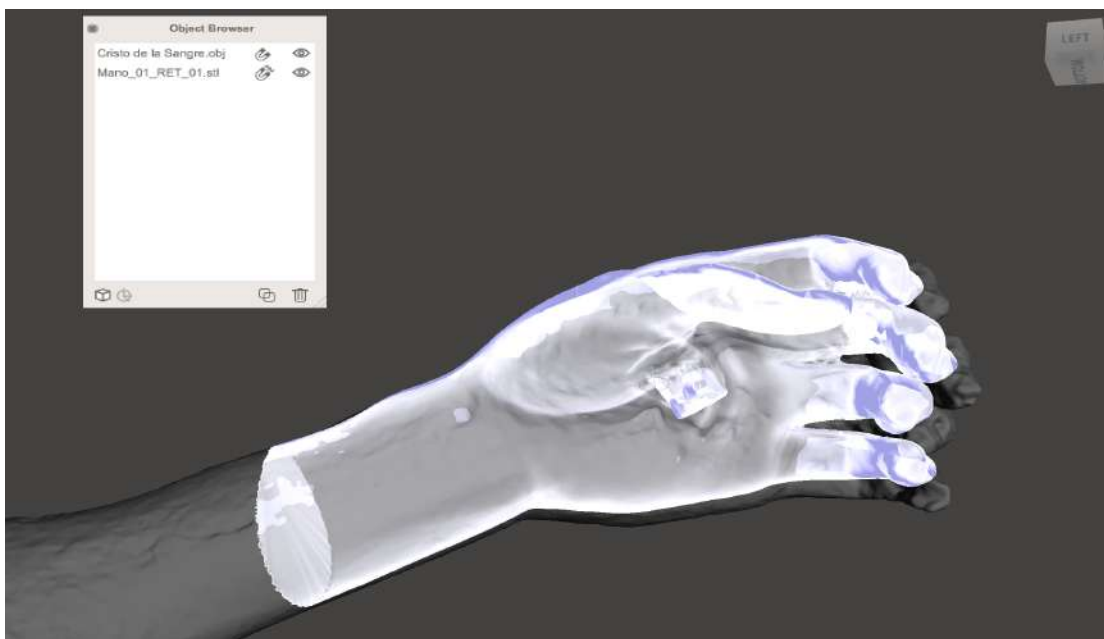


Ilustración 7. Ajuste de atracción de la malla a la forma perfecta de la mano (Fuente: Elaboración propia)

4.4. Ficha resumen del proceso

A continuación, se muestra una ficha resumen del proceso [Tabla 2], a fin de crear una metodología de trabajo clara y concisa que sirva para futuros estudios y comparativas de métodos y/o técnicas.

| OBJETO A DIGITALIZAR | Cristo | Ángel |
|---|---|---|
| ESTUDIO PREVIO | | |
| Iluminación | Nivel iluminación natural: bajo (penumbra) | |
| Espacio disponible en torno a artefacto | Suficiente (capilla) | |
| Necesidad recolocación de artefacto | Sí, bajar al suelo (se encuentra elevado en trono) | Sí, peana propia |
| Artefacto | Tallas policromadas, madera de ciprés y ojos de cristal. | |
| Dimensiones | 1400x1400x560mm | 584,80x319x369,3mm |
| ADQUISICIÓN DIGITAL | | |
| Tecnología escogida: | Fotogrametría (SFM) | |
| Infraestructuras necesarias | | |
| Peana giratoria | Sí | |
| Travelling | Sí | |
| Apoyo Iluminación | Focos y Paneles LED con difusor Tcolor: 5500K (luz fría) | |
| Barras de escala | Sí/ | No |
| Trípode | Sí | |
| Chroma | Sí (color verde) y Corcho blanco refuerzo brazos | Sí (color verde) |
| Características del dispositivo captador | | |
| Cuerpo | Sony Alpha 7R | |
| Óptica | Sony SEL50f1.8 (Focal fija 50mm) | |
| Formato imagen | RAW | |
| Nº de píxeles efectivos | 36.4 Mpixeles | |
| Dimensión del píxel | 4.877Micrometros | |
| Características del proceso | | |
| Número de fotografías empleadas | 1137 | 71 |
| Número de bloques (Chunks) | 3 | Ninguno |
| Tiempo total de adquisición | 16 horas (4 sesiones) | 2 horas (1 sesión) |
| POSTPROCESADO | | |
| Software escogido | Agisoft Photoscan Professional (v. 1.4.5) | |
| Hardware empleado | CPU: Intel Core i7 8Gen 3,2GHz Memoria RAM: 16GBytes Tarjeta Gráfica: GeForce RTX2080 8GB Disco Duro: SSD 500 GB | |
| Enmascaramiento de imágenes | | |
| Tiempo empleado | 15 horas | 3 horas |
| Formato máscaras | .png (Agisoft) | |
| Orientación de las imágenes - Generación de nube de puntos dispersa | | |
| Número de marcadores | 14 (sobre barras escala) | Ninguno |
| Medidas de distancia | 4 | Ninguna |
| Parámetros | Precisión: Máxima Puntos clave por foto: 40.000 Puntos de enlace por foto: 4.000/0 Aplicar Máscaras: Si | Precisión: Alta Puntos clave por foto: 0 Puntos de enlace por foto: 0 Aplicar Máscaras: Si |
| Tiempo de procesado | 1 hora 13min 06s | 14min 7s |
| Limpieza de la nube de puntos | | |
| Tiempo empleado | 55 mins | 20 mins |
| Herramientas de selección-recorte Modelo/Selección Gradual (parámetros) | Manual Err. de reproyección: 411,129pix | Manual Err. de reproyección: 34,3904pix |

| | | |
|---|---|--|
| | Incertidumbre de la reconstrucción: 1000 Número de imágenes: 2 Precisión de proyección: 56,2683 | Incertidumbre de la reconstrucción: 41,0844 Número de imágenes: 2 Precisión de proyección: 117,449 |
| Número final de puntos | 682.281 | 71.093 |
| Tiempo Limpieza nube densa | 30min | 15min |
| Orientación/Fusión de Bloques (Chunks) | | |
| Tiempo empleado | 34min | 1 único bloque |
| Estrategia | Por marcadores | |
| Generación de la nube de puntos densa | | |
| Calidad | Alta (Cálculo de colores de puntos) | Extra-Alta (Cálculo de colores de puntos) |
| Filtrado | Agresivo | Agresivo |
| Tiempo de procesado | 1día 11horas | 7h 56min |
| Número final de puntos | 49.845.771 | 41.109.149 |
| Mapas de profundidad | 1086 | 71 |
| Tiempo Limpieza nube densa | 30min | 10min |
| Generación de la malla | | |
| Parámetros | Tipo de superficie: Arbitrario (3D) Datos fuente: Nube Densa | |
| | Calidad: Media | Calidad: Extra-Alta |
| | Filtrado: Agresivo | |
| Tiempo de generación | 27min24s | 1h 24min |
| Tamaño Vértices- N°Triángulos | 4.986.103-9.969.242 | 1.002.367-2.000.000 |
| Dimensiones modelo (alto x ancho x profundo) | 1400x1394,1x544,1mm | 584x318,33x369,15mm |
| Área y Volumen | 1,9393m ² -50,676dm ³ | 0,3416m ² -5,388dm ³ |
| Tamaño del archivo .obj | 1.190.221KB | 391.683KB |
| Generación de la textura | | |
| Formato | .jpg | |
| Calidad | Mosaico: 4096x4096 Resolución: 96 ppp | |
| Tiempo generación | 31min 42s | 9min 39s |
| Tamaño del archivo | 1712KB | 1062KB |
| EDICIÓN | | |
| Software empleado | Autodesk Meshmixer | |
| Tiempo edición/optimización | 10h | 4h |
| Principales acciones | Recortes, suavizados, relleno de huecos. | |
| Tamaño final (Vértices-Triángulos) | 4.759.955-9.520.022 | 1.774.308-3.548.756 |

Tabla 2. Ficha resumen del proceso fotogramétrico para futuras comparativas con otros procesos de digitalización (Fuente: Elaboración propia).

Un resumen del flujo de trabajo desarrollado mediante la utilización de la fotogrametría digital se muestra en la [Ilustración 8].



Ilustración 8. Diagrama del flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría digital (Fuente: Elaboración propia).

5.- Resultados

5.1. Modelos 3D

En la parte superior de la [Ilustración 9] se muestra la geometría final de los sólidos 3D, en donde se aprecian en mayor medida los detalles. En la parte inferior se representan los modelos con textura y sus dimensiones. En el caso del ángel, la toma de datos realizada sin marcadores artificiales desembocó en la obtención de un modelo desescalado. (García, 2018: 48). Se procedió a un reescalado posterior del modelo tomando como referencia la altura real de la talla. Las dimensiones obtenidas, 584x318,33x369,15mm, se aproximan bastante a los 584,80x319x369,3mm reales recogidos en el informe de la restauración efectuada en 1991. Las barras empleadas en el proceso fotogramétrico del Cristo, gracias a la experiencia previa con el modelo del ángel, permiten un escalado óptimo de dicho modelo fotogramétrico, cuyas dimensiones 1.400x1.394,1x544,1mm se aproximan bastante a los 1400x1400x560mm, enunciados en Bernal *et al.* (2004: 11). Llegados a este punto resultaría de gran interés contrastar este resultado con el de un modelo obtenido a partir de la digitalización mediante técnicas que incorporan escalados de precisión como las basadas en láser escáner.

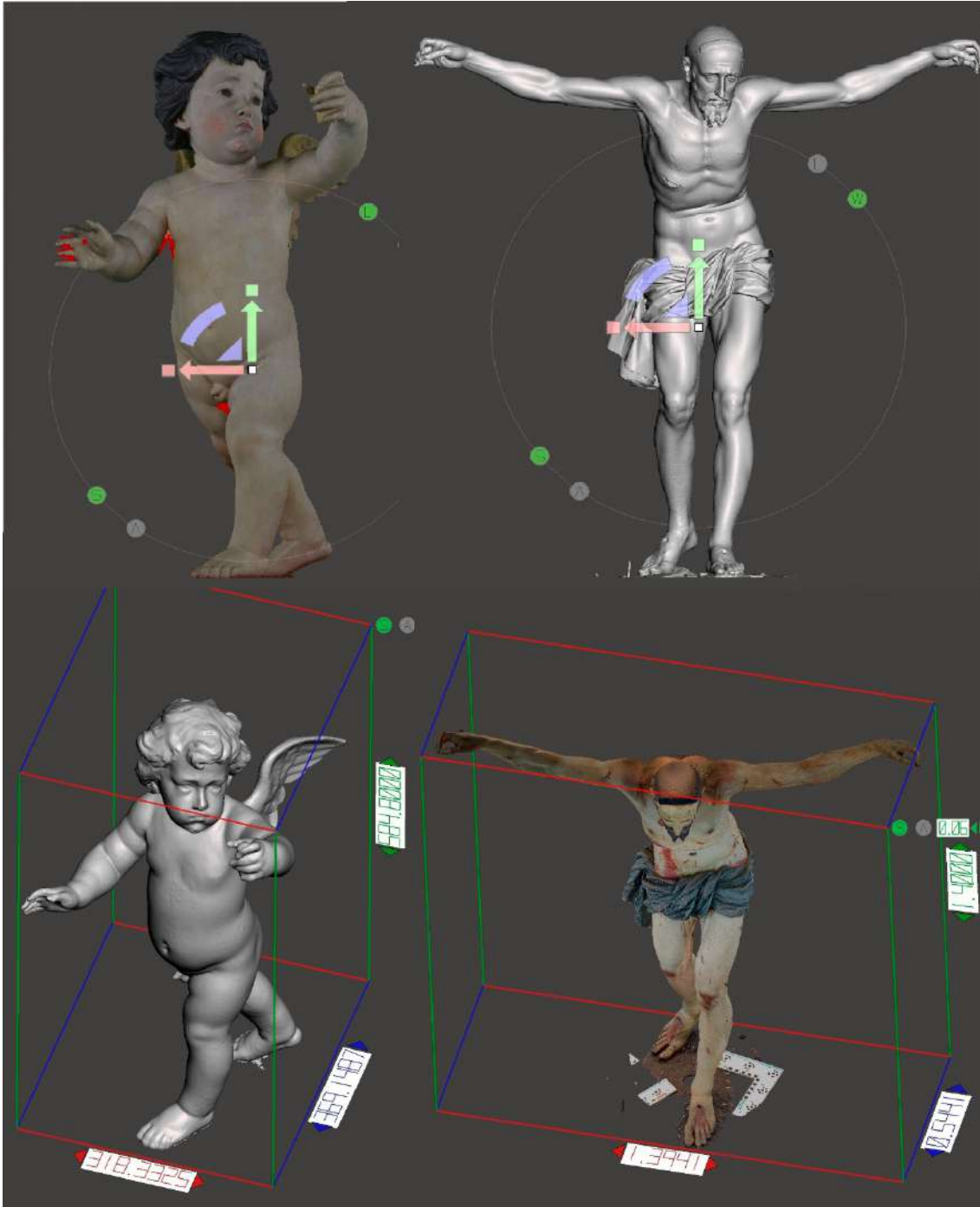


Ilustración 9. Ejes, geometría, dimensiones y texturas de los modelos 3D final del Cristo y del ángel (Fuente: Elaboración propia).

El resultado final del trabajo se exporta a un archivo de extensión .obj o .stl binario aceptado por la mayoría de los softwares para edición e impresión 3D. Por su parte, las texturas o información de color de ambos modelos se almacenan en archivos de tamaño 4096x4096 píxeles de resolución 96 píxeles por pulgada con extensión .jpg que se interconectan con la geometría mediante el fichero .mtl con el mismo nombre.

5.2. Impresión 3D de los modelos

La verificación de la calidad de los resultados fue realizada mediante la fabricación de los modelos 3D generados, su comparación visual y su medida. Para ello, se escogen técnicas de fabricación aditiva, más conocidas como impresión 3D. La fabricación sustractiva habría sido también un proceso válido, pero por su complejidad, el coste de fabricación de las piezas era muy elevado, por requerirse el uso de una máquina de control numérico computarizado (CNC) de al menos cinco ejes.



Ilustración 10a. Preparación de impresión 3D mediante Ultimaker Cura® (Fuente: Elaboración propia). Ilustración 10b. Prueba de impresión 3D en resina (Fuente: Elaboración propia). Ilustración c. Modelos 3D publicados en la plataforma online 3D Sketchfab® (Fuente: Elaboración propia).

En una primera fase, intermedia, se apostó por la impresora Witbox® de la marca BQ®, que empleaba filamentos plásticos de poliácido láctico (PLA) de 1.75mm de diámetro. El software empleado para su control fue Ultimaker Cura® [Ilustración 10a]. Debido a que esta impresora no conseguía reproducir geometrías complejas hubo que recurrir a impresoras de más resolución para verificar que el modelo 3d poseía calidad suficiente. Decantándonos finalmente por las de resina, y concretamente por la impresora Objet24® de la marca Stratasys® basada en la tecnología Polyjet™ 3D. De esta forma se alcanzaron resoluciones de capa de 28 micras de espesor, siendo el material empleado la resina blanca opaca VeroWhitePlus™ [Ilustración 10b].

Por su parte, la calidad de los modelos obtenidos también fue contrastada mediante medidas de referencia a través de herramientas CAD 3D de reconocido prestigio, como Rhinoceros® o Solid Works®.

Finalmente, las pruebas efectuadas en resina de partes de la talla (oreja y pie del Cristo) impresas a escala 1:1, han permitido constatar por referencias métricas sobre detalles en la geometría, una resolución mínima del modelo, de 500 micras. A este hecho hay que añadir que los modelos 3D empleados, tuvieron que reducirse de tamaño, a aproximadamente la décima parte de polígonos, para que el software de impresión los tolerase. El modelo completo también fue impreso a escala 1:8 [Ilustración 10b], apreciándose una buena calidad por comparación visual,

5.3. Publicación en la plataforma Sketchfab

De forma complementaria, los modelos 3D generados, con y sin textura, han sido reducidos de calidad para su publicación de forma privada a través de la plataforma online Sketchfab [Ilustración 10c], que permite el acceso a contenidos 3D para su edición y visionado incluso en Realidad Virtual (VR). Esta prueba ha servido, a su vez, de proyecto

piloto para un futuro museo o exposición virtual del patrimonio artístico de la Archicofradía de la Sangre.

6.- Conclusiones

Se ha logrado el objetivo principal, con la obtención de dos modelos 3D de buena resolución, uno del Cristo de la Sangre y otro del ángel que recoge su sangre, mediante fotogrametría digital. La calidad de los modelos obtenidos ha sido contrastada a través de referencias métricas conocidas sobre zonas de geometría compleja de la talla del Cristo, impresas en 3D con resina, llegándose a reproducir detalles de 500 micras a partir de modelos decimados. Éstos también han sido contrastados con medidas mediante herramientas CAD 3D profesionales como Rhinoceros o Solid Works.

Para ello, se han planificado procesos fotográficos de alta calidad apoyados en ópticas fijas y luminosas junto a sensores de gran resolución y tamaño, así como en herramientas como peanas giratorias regladas de tipo manual y soportes tipo travelling, además de técnicas de iluminación que han ayudado a eliminar sombras y brillos.

Por su complejidad geométrica, y tras la experiencia previa de digitalización del ángel, se ha reforzado la base fotográfica para el Cristo con el uso de barras de escala, sobre las que se han situado marcadores y definido medidas de distancia que han mejorado el escalado del modelo. Se recomienda la utilización de estas barras horizontales y el uso de barras verticales en futuros procesos de digitalización.

Se muestra la necesidad de utilizar herramientas de edición en determinadas zonas para la optimización de los modelos, pero siempre bajo la premisa de preservar la fidelidad del objeto original.

Por la policromía de las tallas y el fin preservador del proceso de digitalización, la textura es un elemento clave en el modelado 3D y la fotogrametría una técnica propicia para su generación. En este sentido, la calidad de las ópticas y de la iluminación en el proceso fotográfico son claves para obtener la mayor calidad sucesivamente a la generación de la malla del modelo.

Los modelos, se han publicado en una cuenta privada de Sketchfab®, una plataforma online para la publicación, edición y visionado 3D y VR de dichos modelos a través de diversos dispositivos –ordenadores, smartphones, tablets, etc.

En definitiva, el proyecto ha ayudado a depurar el flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de tallas de madera policromada. El proceso ha quedado descrito con detalle y se ha elaborado una tabla resumen como base para facilitar la comparativa con otras técnicas.

Por último, cabe comentar que la colaboración interdisciplinar ha sido una de las claves principales en este proceso, sin la confianza de la Archicofradía ni la ayuda de múltiples profesionales e instituciones, la consecución de este trabajo habría sido imposible. Por ello, este proyecto, la metodología y los modelos 3D resultantes han sido inscritos en el Registro de la Propiedad Intelectual por el autor como “Proyecto de Modelado 3D del

Santísimo Cristo de la Sangre y del ángel que recoge su Sangre mediante Fotogrametría” a fecha 14 de diciembre de 2018 y con número de solicitud MU-970-2018.

BIBLIOGRAFÍA

ADEL, N. (2013). “[From Hand Survey to 3D Laser Scanning: A Discussion for Non-Technical Users of Heritage Documentation](#)”, *Conservation & Management of Archaeological Sites*, vol. 15, n. 2, pp. 213-226.

ALCÁNTARA, I. (2010). “El Cristo de la Sangre, de Nicolás de Bussy. Iconografía e historia”. En: MOYA Y MARTÍNEZ, J. J. (coord.) *Vid salvífica*. Calasparra: Antigua y Venerable Cofradía de la Sangre de Cristo y la Vera Cruz de Calasparra, pp. 181-199.

ÁLCÁNTARA, I. (2019). “El Santísimo Cristo de la Sangre en el Lagar Sagrado”, *Revista la Procesión*, n. 3, pp. 93-94.

ALONSO MORAL, R. (2006). “Nicolás de Bussy, escultor del rey. Su etapa en el Palacio de Aranjuez”. En: MONTOJO, V. (coord.) *Nicolás de Bussy: un escultor europeo en España. Tercer centenario de su muerte (1706-2006)*. Murcia: Real Academia de Bellas Artes de la Arrixaca, pp. 33-53.

ANTLEJ K., ERIC M., ŠAVNIK M. et al. (2011). “Combining 3D technologies in the field of cultural heritage: Three case studies”, en *Proceedings of the Conference VAST: The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage – Short and Project Papers*, The Eurographics Association, pp. 1-4.

BAQUERO, A. (1913). *Los profesores de las Bellas Artes murcianos*. Murcia: Imp. Sucesores de Nogués, pp. 132-134.

BELDA, C., HERNÁNDEZ, E. (2006). *Arte de la Región de Murcia: de la Reconquista a la Ilustración*. Murcia: CARM, Consejería de Educación y Cultura.

BERNAL CASANOVA, J., LÓPEZ SOLDEVILA, F. et al. (2004). *Cristo de la Sangre Nicolás de Bussy. La imagen restaurada*. Murcia: Ayuntamiento de Murcia.

BUCHÓN, A. M. (2000). “Escultores extranjeros maestros del gremio de carpinteros de Valencia: Nicolás de Bussy, Julio Capuz y Francisco Stolf”, *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura*, vol. 76, n. 1-4, pp. 161-168.

BUDAK, I. (2019). “[Development of Expert System for the Selection of 3D Digitization Method in Tangible Cultural Heritage](#)”, *Technical Gazette*, vol. 26, n. 3, pp. 837-844.

CLINI, P., EL MEHTEDI, M., NESPECA, R. et al. (2017). “[A digital reconstruction procedure from laser scanner survey to 3D printing: The theoretical model of the Arch of Trajan \(Ancona\)](#)”. *SCIRES-IT*, vol. 7, n. 2, pp. 1-12.

COLORADO, A. (2018). “Síntesis de los resultados del Proyecto de I+D de Excelencia *Investigación histórica y representación digital accesible. El patrimonio artístico durante*

la Guerra Civil y la posguerra". En: COLORADO, A. (ed.) Patrimonio cultural, Guerra Civil y posguerra. Madrid: Editorial Fragua.

DE LA PEÑA, C., GARCÍA-LEÓN, J., SÁNCHEZ-ALLEGUE, P. (2017). "Documentación, conservación y difusión de un retablo a través de la Geomática: el retablo barroco de la Iglesia de San Miguel en Murcia", E-rph, n. 21, pp. 67-90.

DÍAZ CASSOU, P. (1897). Pasionaria Murciana. La cuaresma y la Semana Santa en Murcia. Madrid: Imprenta de Fortanet (reimp. Murcia: Real Academia Alfonso X el Sabio, 1980).

FUENTES Y PONTE, J. (1882 y 1884). España Mariana. Provincia de Murcia. (Reimp. Murcia: Fundación Centro de Estudios Históricos e Investigaciones Locales, 2005).

GARCÍA-LEÓN, J., SÁNCHEZ-ALLEGUE, P., PEÑA-VELASCO, et al. (2018). "[Interactive dissemination of the 3D model of a Baroque Altarpiece: A pipeline from digital survey to game engines](#)", SCIRES-IT, vol. 8, n. 2, pp. 59-76.

GARCÍA, E.I. (2018). "Análisis comparativo de diferentes sistemas de digitalización tridimensional aplicados al patrimonio escultórico". Grado en Conservación y Restauración de Repositorio Institucional de la Universidad de la Laguna. pp. 44-53. En línea: <<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/12132>>. [Consulta: 10.9.2019].

GARSTKI, K. (2017). "[Virtual Representation: the Production of 3D Digital Artifacts](#)", Journal of Archaeological Method & Theory, vol. 24, n. 3, pp. 726-750.

GÓMEZ PIÑOL, E. (2003). "La naturaleza icónica de las imágenes sagradas de Nicolás de Bussy". En: Nicolás de Bussy. Murcia: Ayuntamiento de Murcia, pp. 23-50.

HERNÁNDEZ REDONDO, J. J. (2012). "Aplicación de medidas de conservación preventiva en los pasos procesionales del Museo Nacional de Escultura". En: Conservación preventiva en lugares de culto. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, pp. 185-193.

INIESTA, J., BELDA, C. (2006). Nicolás de Bussy y la Archicofradía del Rosario. Las claves de un pleito. Murcia: Academia Alfonso X el Sabio.

ISPRS (2016). Statues: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, July 2016. En línea: <<https://www.isprs.org/documents/statutes16.aspx>>. [Consulta: 28.7.2020].

JAFRI R., SYED ABID A. (2015). "Utilizing 3D printing to assist the blind", en International Conference on Health Informatics and Medical Systems (HIMS'15). Las Vegas, Nevada, pp. 55-61.

JOHNSON T. M. (2016). "Let's Get Virtual: Examination of Best Practices to Provide Public Access to Digital Versions of Three-Dimensional Objects", Information Technology & Libraries, vol. 35, n. 2, pp. 39-55.

KULIKAJEVAS, A., MASKELIŪNAS, R., DAMAŠEVIČIUS, R., et al. (2019). [“Reconstruction of 3D Object Shape Using Hybrid Modular Neural Network Architecture Trained on 3D Models from ShapeNetCore Dataset”](#), Sensors, vol. 19, n. 7, pp. 1553-1553.

KWAN, A., BUTLER, K. (2018). [“3D-Printed Facsimiles as Classroom Primary Sources: A Comparative Review: 3D printing brings ancient artefacts into the hands of your students”](#), Agora, vol. 53, n. 3, pp. 4-15.

LERMA, J. L. et al., (2011). “La documentación patrimonial mediante sensores de imagen o de barrido láser”. En: Documentación gráfica del patrimonio. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte, pp. 108-117.

LÓPEZ AZORÍN, M.J., SÁNCHEZ–ROJAS, M. C. (2004). “Notas para una biografía del escultor D. Nicolás de Bussy”, Boletín del Museo Nacional de Escultura, n. 8, pp. 29-36.

LÓPEZ JIMÉNEZ, J. C. (1973). “Archicofradía eucarística de la Preciosísima Sangre. Recuerdos angélicos. Por el arte se llega a Dios”, Revista Los Coloraos, n. 25, [s.p.].
LÓPEZ JIMÉNEZ, J. C. (1976). “De Miguel Ángel a Bussy”, Revista Los Coloraos, n. 28, [s.p.].

LÓPEZ JIMÉNEZ, J.C. (1972). “Influencia de Alberto Durero en España. En el V centenario de su muerte – De Nuremberg a Burgos”, Boletín de la Institución Fernán González, año 51, n. 178, pp. 197-199.

LÓPEZ, J. C. (1963). “El escultor Don Nicolás de Bussy”, Archivo de Arte Valenciano, n. 34, pp. 64-77.

LUNA, L. (2010). “Sangre de Cristo y Cristo de la Sangre. Planteamientos iconográficos en España y Europa”. En: MOYA Y MARTÍNEZ, J. J. (coord.) Vid salvífica. Calasparra: Antigua y Venerable Cofradía de la Sangre de Cristo y la Vera Cruz de Calasparra, pp. 257-276.

MERCHÁN, P., SALAMANCA, S., ADÁN, A. (2011). [“Restitution of Sculptural Groups Using 3D Scanners”](#), Sensors, vol. 11, n. 9, pp. 8497-8518.

NICOLAS, T., GAUGNE, R., TAVERNIER, C., et al. (2015). [“Touching and Interacting with Inaccessible Cultural Heritage”](#), Presence: Teleoperators & Virtual Environments, vol. 24, n. 3, pp. 265-277.

PORTALÉS, C., LERMA, J. L., PÉREZ, C. (2009). [“Photogrammetry and augmented reality for cultural heritage applications”](#), Photogrammetric Record, vol. 24, n. 128, pp. 316-331.

RAMALLO, G. (2003). “Fuentes tipológicas e iconográficas de Nicolás de Bussy”. En: Nicolás de Bussy. Murcia: Ayuntamiento de Murcia, pp. 53-69.

RELJIÇ, I., DUNDER, I. (2019). “Application of Photogrammetry in 3D Scanning of Physical Objects”, TEM Journal, vol. 8, n. 1, pp. 94-101.

RODRÍGUEZ, P. (2012). “[Digital Photogrammetry versus the system based on active sensors](#)”, Revista de EGA, n. 20, pp. 100-111.

RUIZ, N. (2015). “Operación rescate del patrimonio de Murcia”. La Verdad, 20 de diciembre. En línea: <<https://www.laverdad.es/murcia/culturas/201512/20/operacion-rescate-patrimonio-murcia-20151218212748.html>>. [Consulta: 8.1.2019].

SÁNCHEZ DE LOS REYES, M. (2011) “¿Qué le parece que existan copias de seguridad de imágenes como Pasión, el Gran Poder, etc.?, Cofrades, 27 de octubre. En línea: <<http://cofrades.sevilla.abc.es/profiles/blogs/la-copia-de-pasi-n-est-emparedada-en-san-juan-de-dios/>>. [Consulta: 10.6.2019].

SÁNCHEZ MORENO, J. (1943). “Don Nicolas de Bussy, escultor (nuevos datos sobre su personalidad artística y humana)”, Anales de la Universidad de Murcia, 2º trim., pp. 121-154.

SÁNCHEZ–ROJAS, M. C. (1982). El escultor Nicolás de Bussy. Murcia: Universidad de Murcia.

SÁNCHEZ–ROJAS, M.C. *et al.* (2005). Nuevas aportaciones al estudio del escultor barroco Nicolás de Bussy. Murcia: Archicofradía de la Preciosísima Sangre de Nuestro Señor Jesucristo.

TUSELL, J. (2003). “El patrimonio artístico español en tiempos de crisis”. En: Arte protegido. Memoria de la Junta del Tesoro Artístico durante la Guerra Civil. Madrid: Ministerio de Cultura, pp. 17-25.

URCIA, A., ZAMBRUNO, S., VAZZANA, A. et al. (2018). “Prototyping an egyptian revival. Laser scanning, 3D prints and sculpture to support the echoes of Egypt exhibition”, Archeologia e Calcolatori, n. 29, pp. 317-332.

XU I., DING L., LOVE P.E.D. (2017). “Digital reproduction of historical building ornamental components: From 3D scanning to 3D printing”, Automation in Construction, n. 76, pp. 85-96.

ANALYSIS OF THE USER EXPERIENCE (ON SITE VS VIRTUAL REALITY) THROUGH BIOLOGICAL MARKERS AND COGNITIVE TESTS IN MUSEUMS. THE CASE OF MUSEO CRISTO DE LA SANGRE (MURCIA, SPAIN).

Rafael Melendreras Ruiz. Universidad Católica San Antonio de Murcia, Spain. rmelendreras@ucam.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5404-6245>

*Paloma Sánchez Allegue. Universidad Católica San Antonio de Murcia, Spain. psanchez116@alu.ucam.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9133-8810>

María Teresa Marín Torres. University of Murcia. Spain. mtmarin@um.es
<https://orcid.org/0000-0003-1958-1741>

Manuel Pardo Ríos. Universidad Católica San Antonio de Murcia, Spain. mpardo@ucam.edu
<https://orcid.org/0000-0001-7965-0134>

José Joaquín Cerón Madrigal. University of Murcia. Spain. jjceron@um.es

Damián Escribano Tortosa. University of Murcia. Spain. det20165@um.es
<https://orcid.org/0000-0001-9439-6779>

Abstract

Digital technologies have changed almost every aspect of our lives, including the way we access heritage. Following the pandemic caused by Covid 19 and the technological evolution of recent years, museums and institutions, among others, have changed the way they display their collections, taking a greater interest in new technologies, platforms and digital software. This technological boom finds its greatest transformation with the implementation of Virtual Reality (VR) and Metaverse in the museum sector. This article shows the concrete influence of VR/Metaverse in a museum room previously digitised through different techniques. Subsequently, the impact over user experience in the VR scenario versus on-site visit has been measured. In parallel, the measurement of the enzyme alpha-amylase in saliva, a cognitive test and usability test (SUS) were carried out to determine the learning capacity and degree of satisfaction obtained with experience alongside the room of the Museo de la Sangre in Murcia (Spain).

Keywords: Digitisation, Virtual-Reality, Spatial, Alpha-Amylase, System Usability Scale, Metaverse.

1. Introduction:

The pandemic caused by the Covid 19 virus has placed us in an unusual situation, which has made us question and change our habits and customs, to the point of readapting our priorities and most fundamental considerations. Technology, little by little, has been revealed as a great ally to overcome these problems caused by the virus. A set of platforms, tools and software have made it possible to create immersive environments that favour communication and learning to a greater extent, with the aim of generating an interactive paradigm in which users can visualise and/or interact with objects in a way that has never been possible before. We must be aware that Virtual, Augmented or Mixed Reality are far from being exclusive to the videogame industry and are increasingly being used in education, research, experimentation or heritage.

During the period of confinement, we could see how museums reacted by trying to offer in digital format everything they could that was previously done in person, some of them approached the period of closure more prepared than others. With the arrival of the new reopening, museums focused on systematising their routes and applying the necessary measures to ensure a safe opening for their visitors and workers. From that moment until today, the particularity that we are experiencing before these situations has led museums to take a different interest in the digital medium, directing their resources and efforts to create new forms of presence that, without a doubt, direct the museum towards a hybrid format of exhibition, in which virtuality is combined with physical presence (Hyunae 2020).

In this respect, Virtual Reality has much to contribute, being one of the greatest incentives for museums to introduce new ways of attracting visitors as well as to continue to fulfil its mission, as we will see

throughout this article, with the case study of the Museo de la Sangre de la Región de Murcia (Spain) which has implemented this technology in a pioneering way. This study shows the results obtained after measuring the enzyme alpha-amylase in saliva, in the visualisation with Virtual Reality glasses of one of the rooms of the Museum to find out the learning capacity and the degree of satisfaction obtained from the visualisation of the Museum's sculptural heritage.

2. Innovative experiences in museum virtualization.

Museums and cultural institutions or entities are at a time when developing digital products and new models of virtualisation to show visitors has become the order of the day. They seek to offer new forms of exhibition that are articulated with their own physical exhibitions to show their contents from the use of new technologies through 360° virtual tours, virtual or augmented reality, etc. Mainly, demanding to reach new audiences anywhere in the world (Shehade et al. 2020).

The first products they offered were the 360° digital tours that have become the basis for the virtualisation of museums through 360° images of their rooms or 360° videos of their tours (Scavarelli 2021). This allows the user to tour the galleries and exhibitions at will and at their own time through any device (web, mobile or virtual reality glasses). In this way, the exhibition reaches any location and public. Examples include the website "Miguel Delibes: Su vida y su obra," hosted by Acción Cultural Española, which provides detailed information about the author, according to the Ministry of Education, Culture and Sport (Acción Cultural Española). On the other hand, Grimshaw's Tate Modern Project is a major architectural effort to expand the museum, according to information from Tate (Tate). The websites are listed in the references section.

Another product that has been widely used in recent years has been websites and microsities, which promote an approach by reaching the public through digital channels, but at the same time offering an incentive to bring them in person to complete the information in the Museum itself (Hamza et al. 2022). Examples are the websites of The Museum of Modern Art presents the exhibition "Julia Phillips" (Museum of Modern Art, n.d.), while the Van Gogh Museum offers a series of stories related to art ("Art and Stories: Stories," Van Gogh Museum, n.d.). The websites are listed in the references section.

Finally, the product currently most in demand by users and with the greatest loyalty and possibilities have been the experiences of realities (virtual, augmented or extended), which have allowed an even closer approach to the spectator, with the 3D digitalisation of their works (Bellido, 2016) and/or augmented reality experiences (Puig 2020), which have brought static exhibitions to life (Yuting 2022). Creating a third dimension, both with the use of Virtual Reality glasses and through virtual applications or platforms, and offering a new, interactive, didactic and different perspective from the traditional exhibition. Examples include the Louvre offering a unique experience with "The Mona Lisa in virtual reality in your own home" (Louvre Museum, n.d.), while the Smithsonian provides a modern perspective on visiting the museum in its blog "Do it for the Gram" (Smithsonian, n.d.). The websites are listed in the references section.

At national and regional level, there are numerous centres in Spain that already have microwebs and 360° digital tours of their museums, such as the National Archaeological Museum in Madrid ("Museo Arqueológico Nacional en Madrid"). Likewise, the Salzillo Museum in the Region of Murcia offers a virtual tour ("Salzillo Museum in the Region of Murcia"). The websites are listed in the references section.

3. Virtualization of "Museo Cristo de la Sangre" (Murcia-Spain).

Seeking to offer a complete and more attractive product for spectators and visitors, the Museo Cristo de la Sangre (owned by the oldest of the Holy Week brotherhoods of Murcia) created the virtualisation project of the museum through the digitalisation of the sculptures and the 3D recreation of the architecture of the first room to be viewed in Virtual Reality.

3.1. The “Museo de la Sangre” of Holy Week.

The “*Museo del Cristo de la Sangre*” is a cultural institution of great importance in the city of Murcia. Its existence is linked to the very history of the institution that makes it possible, in this case, the so-called *Real, Muy Ilustre, Venerable y Antiquísima Archicofradía de la Preciosísima Sangre de Nuestro Señor Jesucristo*, whose origins date back to the year 1411. The sculptural heritage treasured by this penitential brotherhood, which dates from the 17th to the 21st centuries, and which is carried in procession through the city every Holy Wednesday, was kept in narrow rooms in the upper part of the church of El Carmen, until 2018, when a new headquarters was opened in an adjoining space. Its museography project was truly innovative, with the sculptures displayed at spectator level and with a lighting project that highlighted the dramatic aspects of images that recreate the Passion of Christ.

Also, since that year, the museum has developed a cultural action programme that has made it more accessible to the public, through innovative temporary exhibitions, conferences and other cultural activities. But, above all, the implementation of a digitisation and virtual reality project to make its artistic heritage more accessible has been of great interest. In particular, the first room of the museum, where sculptures dating from the 17th and 18th centuries are exhibited, linked especially to two artists, Nicolás de Bussy (ca. 1640 - 1706) and Roque López (1747 - 1811), who constitute the alternative to the sculpture of Francisco Salzillo (1707-1783), who has his own museum in Murcia, linked to another brotherhood, the Real y Muy Ilustre Cofradía de Nuestro Padre Jesús.

All the sculptures in this first room have been digitised and from this project, a museum has been recreated in virtual reality. It all began with the most important sculpture of the brotherhood and the museum, the *Cristo de la Sangre* by Bussy, a work from 1693. After its digitalisation, a replica of the bust of this sculpture was created to recreate a visit that allows visitors to develop their sense of touch, sight, hearing and smell, as it transports them to the day on which it goes out in procession at Easter. Likewise, museum users can have an immersive experience by visiting this museum room with 3D glasses, where they can appreciate the polychrome wooden sculptures in great detail, as well as learn about the history of each one of them. This fulfils the mission that every museum should have, as stated by the International Council of Museums (ICOM), in the latest definition approved in Prague in 2022, as these institutions should tend to the participation of communities, "offering varied experiences for education, enjoyment, reflection and the exchange of knowledge" (ICOM 2022).

3.2. Background of the Museum's virtualization project.

The Museum's virtualisation project consists of three distinct phases that have encompassed other studies described in the research cited below.

The first phase consists of the digitisation of a Christ, called Christ of the Blood, using three different digitisation techniques: photogrammetry, laser scanning and structured light scanning, obtaining very positive results, as described in Melendreras et al. (2020), Melendreras et al. (2022a) and Melendreras et al. (2022b). Finally, it was concluded that the combined use of medium- and high-resolution structured light scanners (focused on the digitisation of small elements such as teeth, beard, nose, etc.) offered the best results in terms of accuracy, quality and efficiency. Thus, it was decided to use the structured light technique for the digitisation of the rest of the sculptures in the museum hall. Specifically, a full-length Christ, a small angel, two busts and a third bust created from the scan of the full-length Christ scanned for the creation of a replica for the blind and the subject of study in Melendreras, et al. (2022c) were digitised. However, due to the large size of the sculptures obtained with this scanner (excessive weight of the models and the number of polygons), which could not be incorporated into the metaverse software, it was decided to digitise all the sculptures in the room again with an iPhone-type mobile device, using the Polycam application.

In a second phase, a digital tour of the Museum was created by capturing 360° images with the aim of reaching a wider public and distributing them digitally, as the Museum was still under access restrictions at that time, caused by the pandemic. The 360° images were taken with the Xphase® camera and the virtual tour of the Museum was created with the 3D Vista® software, incorporating images of the museum, information points and videos to complete the graphic information offered. The website is listed in the references section.

Finally, the third phase of this article consists of the creation of an immersive virtual environment with the Blender and Spatial software, of the first room of the Museum, seeking to be as faithful as possible to reality and to the digital tour, mentioned above, to be viewed through the Oculus Quest 2® Virtual Reality glasses and its comparison with reality through the collection of salivary samples and usability tests that verify the creation of virtual content as a satisfactory means of enjoying the heritage.

3.3. Design of the virtual experience.

The Museo de la Sangre, as described in section 3.1., consists of three distinct rooms, however, due to time and volume reasons, this study has focused exclusively on the creation of the virtual environment of the first room of the Museum, as mentioned above.

The virtual content of the museum was created using Blender® and Spatial® software. Blender software is a free and open-source 3D authoring software that supports virtually all aspects of 3D development. It has a solid foundation of modelling, texturing, rigging, animation, lighting, and a host of other tools for complete 3D creation. All the objects included in the room, such as walls, ceilings, doors, floorboards, lights, etc., were created in this programme. At the same time, points of light were added to the generated lights to recreate the appearance of the real environment. Likewise, special care was taken in the choice of textures to make them as realistic as possible, such as the texture of the floor, which was imported using a .png image with a colour very similar to the real floor of the Museum. The textures of the walls and ceiling were simpler, as they consist of a basic uniform colour, so it was sufficient to apply a uniform matte colour to them by changing the surface of the object, using the *shading editor* tool (fig. 01).

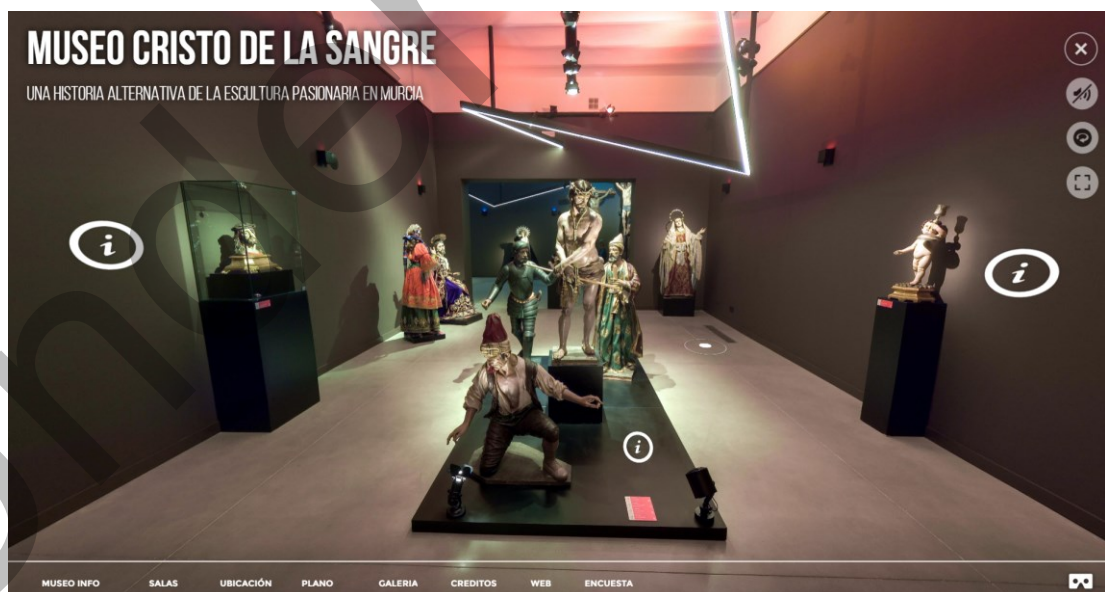


Fig. 01: Virtual Tour 360° Source:

http://www.coloraos.com/index2.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=69

These textures were imported with resolutions of 2048 x 2048 pixels, without shadows or reflections, in order to try to reduce the weight of the global file as much as possible. Since one of the main problems of online virtual rooms is the reduced weight that they currently allow. Finally, it was also decided to eliminate the points of light and it was decided to make a bake or fixed texture with the points of light of

the spotlights on the walls to give it a realistic touch, although in reality, they were not being illuminated. The final result of the environment created in Blender is shown in the following image (fig. 02).

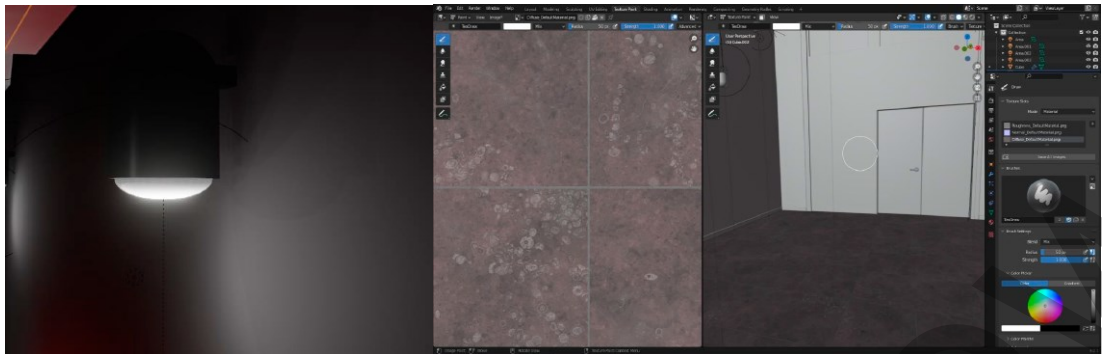


Fig. 02: Creating elements in Blender.

This environment was then exported in .glb for import into Spatial, which is a Metaverse platform, available both on the web and as a mobile application. This platform only supports connection to Meta Quest and Meta Quest 2 VR devices.

Once this room is loaded into Spatial, we proceed to finish importing and modelling the rest of the missing elements. The 3D models of each of the digitised figures are imported and placed on their respective pedestals inside the museum. The labels with their names, created by photographing them in the Royal Museum, are also placed on these pedestals (fig. 03).



Fig. 03: Creation of the Museum room in Blender.

The result obtained, as can be seen in Fig. 04, is quite satisfactory, despite the limitations of quality and weight of the files imported into Spatial. The Museum created in Spatial can be visited in the link found in the Web References Section.

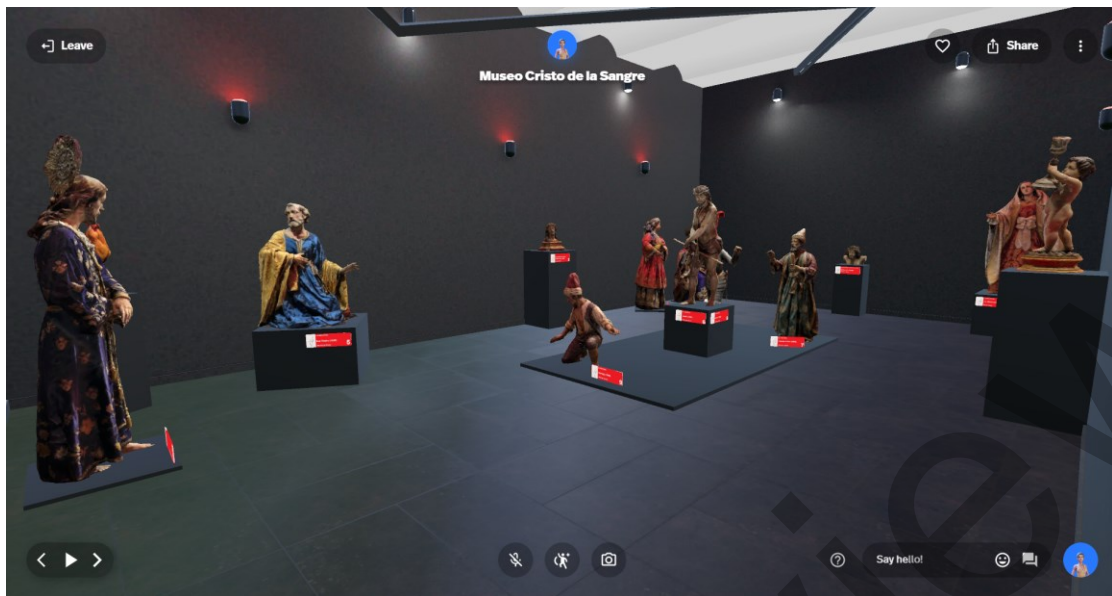


Fig. 04: Virtual room of the Museum created in Spatial.

4. Study methodology

This study aims to measure whether the VR experience really does show significant differences compared to the same experience in person, in terms of user satisfaction, usability and information retention.

To this end, two visits will be prepared with two different groups of people: one group will take the traditional guided tour of the Museum, in person, while the other group will take the guided tour through Virtual Reality. The groups will be made up of people between 18-75 years of age of both sexes and of different academic backgrounds, as regular visitors to the museum and recommended users of VR technologies. These individuals will undergo the following tests:

- 4.1. Cognitive test: A knowledge and/or learning test is carried out to measure the degree of comprehension, attention and memory after the guided visit or VR experience.
- 4.2. Biological test: A pre/post saliva test is performed to measure the variation in alpha-amylase enzymes indicative of psychological stress and cortisol levels indicative of physical stress (Informed consent, University Ethics Committee).

4.2.1. Measurement of saliva flow:

Patients were asked to refrain from brushing their teeth or ingesting food or any other substance, e.g., medication or lip cosmetics. Before collecting saliva, each patient rinsed their mouth with distilled water. All samples were collected at room temperature, which was stable. Unstimulated saliva was collected by the drainage method (31), without chewing movements, in dry plastic vials, with the test subject seated in a relaxed position. Approximately 5 ml of unstimulated whole saliva was collected. In all cases, saliva samples were collected in the morning, between 10:00 and 12:00 hours. Unstimulated whole saliva flows were measured in ml/5 min. The presence of blood contamination in the samples was excluded (by visual inspection scale).

4.2.2. Laboratory methods:

Saliva was centrifuged immediately after collection at 3000 g for 10 min. Samples were then placed in Eppendorf tubes and frozen at 80°C for preservation until analysis.

AAS (Alpha-amylase enzyme) was measured using a commercial kit (Olympus®) and the methodology recommended by the International Federation of Clinical Chemistry and Clinical Laboratory Sciences (IFCC). This analysis was performed by a kinetic spectrophotometric study using 4,6-ethylidene (G7)-nitrophenol (G1)-alpha-D-maltoheptaboside (ethylidene-G7PNP) as the enzyme substrate. The hydrolysis intermediate of the substrate is reacted with alpha-glucosidase, producing p-nitrophenol as the final product of the reaction. The rate of p-nitrophenol formation is directly proportional to the alpha-amylase activity of the sample and can be determined by measuring the absorbance at 405 nm. The reagent volumes were adjusted according to the manufacturer's instructions. The assay was adapted to an automatic analyser (Olympus A400®). The method produced an inter-assay CV of less than 3% and a linear regression coefficient of 0.992. The measured concentration results are expressed in International Units (IU) (Roca et al. 2022).

Cortisol was evaluated by a solid-phase, competitive chemiluminescent enzyme immunoassay (Immulite; Siemens, Erlangen, Germany), displaying within-run and between-run imprecision lower than 10%, recovery rates between 92% and 120%, and a limit of detection of 0.2 nmol/l (32, 33).

4.2.3. Statistical analysis:

Data were analysed using SPSS 21.0 statistical software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

For the general analysis of the study variables, basic descriptive methods were used for qualitative variables, obtaining the number of cases present in each category and the corresponding percentage; for quantitative variables, maximum, minimum, mean and standard deviation-standard deviation values were calculated.

To compare means between groups, the Student's t-test was used to compare means between groups, the Student's t-test was used for normal independent samples with the Kolmogorov-Smirnov test ($n > 30$).

The significance of the results was assessed by calculating the effect size (d) proposed by Cohen (35), where values of 0.2, 0.5 and 0.8 typically correspond to low, medium and high effects. Correlations between variables were performed using Pearson's correlation coefficient. The significance level was set as $P < 0.05$.

4.3. Adaptation test: With the intention of verifying whether the technology is a barrier to the development of the experiment and/or user adaptation to VR, the SUS (System Usability Scale) test is performed to measure the usability of the device in the user experience carried out, and to determine the satisfaction or irritation of using this technological tool. (Brooke 2013).

The SU scale is typically used after the respondent has had the opportunity to use the system being evaluated, but before a briefing or discussion takes place. It consists of a 10-question questionnaire based on a 5-point Likert scale ranging from "strongly agree" to "strongly disagree".

Respondents should be asked to record their immediate response to each item, rather than thinking about the items for a long time. All items should be checked. If a respondent feels that he/she cannot answer a particular item, he/she should mark the central value of the scale, located at score 3.

SUS yields a single number that represents a composite measure of the overall usability of the system under study (Bangor et al. 2009).

To calculate the SUS score, the contributions of each item are first summed. For items 1,3,5,7 and 9, the score contribution is the position on the scale minus 1. For items 2,4,6,8 and 10, the contribution is 5 minus the position on the scale. The sum of the scores is multiplied by 2.5 to obtain the overall SUS value. SUS scores range from 0 to 100 (Brooke 1995).

In order to carry out the face-to-face and immersive experience and the tests described above, the following study protocol is established:

1. Preparatory information: Brief information on the protocol for the experience.
2. Biological test: Pre-visit/experience saliva sampling.
3. Experience: On-site visit / virtual visit
4. Biological test: Post-visit/experience saliva sample collection.
5. Cognitive test: Knowledge test of auditory or visual information observed in the experience or visual.
6. SUS test: Usability test on VR devices to VR users during the experience.

The following is a description of how each of the visits was carried out:

On-site visit

35 people met at the Museum, in 5 groups of approximately 7 people and at different times, in order to make the visit in a comfortable and relaxed manner. First of all, the visitors entered the Museum library, where they were informed about what they were going to do and a saliva sample was taken before the experience. After the saliva samples were taken, they were taken to the first room of the Museum, where they were given a guided tour in the traditional way, providing them with some relevant information about the sculptural heritage they were observing. The visit lasted approximately 15 minutes. At the end of the visit, a post-visit saliva sample was taken again, and they were asked to fill in a test on the computers available in another room on the knowledge they remembered from the visit (fig. 05).



Fig. 05: On-site visit

Virtual tour

35 people were invited in groups of 2. The virtual visit took place in the Virtual Reality Room of the Universidad Católica San Antonio de Murcia, which was prepared and equipped with the appropriate equipment (computer and glasses) for the virtual visit. As in the face-to-face group, a saliva sample was taken before and after the visit and the guided visit was carried out in this case with virtual reality goggles. The visit also lasted approximately 15 minutes (fig. 06).



Fig. 06: Virtual reality visit

In both cases, saliva samples were collected in test sample tubes and stored cold in a cooler with ice blocks. Each of the samples were numbered, as No. A (the pre-samples) and No. B (the post-samples) for further analysis.

The forms of cognitive test after both experiences that were filled out for each group can be found in the Web References section. Also users of the VR experience also took a SUS test, to find out the degree of satisfaction and/or difficulty in using the Virtual Reality goggles and controllers. This form can be found in the Web References section.

5. Results.

The results obtained from the three tests carried out during the study conducted in this article are shown below, with the following data being obtained:

5.1. Cognitive test:

| QUESTIONS | ANSWERS | |
|--|--|---|
| | ON SITE VISIT | VIRTUAL REALITY VISIT |
| 1. Sample n°: | 35 samples | 35 samples |
| 2. Gender: | Female: 51.4% (18) Male: 48.6% (17) | Female: 48.6% (17) Male: 51.4% (18) |
| 3. Age: Average: | 43 years | 47 years |
| 4. Had you previously taken a guided tour of a Museum? / 4. Had you put on Virtual Reality glasses before? | Yes: 70.6% (24) No: 29.4% (10) | Yes: 62.86% (22) No: 37.19% (13) |
| 5. To what degree of 1-10 did you like the experience? | 8: 17.1% (6), 9: 40% (14) and 10: 42.9% (15). | 7: 8.57% (3) 8: 8.57% (3), 9: 11.43% (4) and 10: 71.43% (25) |
| 6. Remember how many angels originally accompanied the <i>Cristo de la Sangre</i> ? | 1 angel: 8.6% (3), 3 angels: 5.7% (2), 4 angels: 11.4% (4) and 5 angels: 74.3% (26). Correct answer: 5 angels. | 1 angel: 8.6% (3), 2 angels: 14.3% (5), 3 angels: 8.6% (3), 4 angels: 17.1% (6) and 5 angels: 51.4% (18). Correct answer: 5 angels. |
| 7. Do you remember the purpose of the creation of the tactile replica of the <i>Cristo de la Sangre</i> ? | Replica for the blind: 100% (35) | Replica for the blind: 94.3% (33), Replica for exposure: 5.71% (2). Correct answer: replica blind |
| 8. Do you remember what material the tactile replica of the <i>Cristo de la Sangre</i> has been made? | Resin: 100% (35) | Resin: 91.43% (32), Wood: 5.71% (2), Clay: 2.86% (1). Correct answer: Resin. |
| 9. Do you remember the name of the predominant sculptor in the room? | Roque López: 11.43% (4), Nicolás de Bussy: 88.57% (31). Correct answer: Nicolas de Bussy | Roque López: 14.3% (5), Nicolás de Bussy: 85.71% (30). Correct answer: Nicolas de Bussy |
| 10. Do you remember the name of the sculptural group that is in the center of the room? | The Praetorium: 100% (35) | Praetorium: 94.29% (33), Samaritan: 2.86% (1), Denial: 2.86% (1). Correct answer: Praetorium |
| 11. Remember what the Samaritan woman has in her arms? | Saddlebag: 80% (28), Cloth: 20% (7). Correct answer: Saddlebag | Saddlebag: 77.14% (27), Cloth: 20% (7), Rope: 2.86% (1). Correct answer: Saddlebag |
| 12. Do you remember the colour of the walls of the room? | Light-White Tones: 17.1% (6), Dark tones-black/brown: 82.9% (29). Correct answer: Dark tones | Light-white tones: 14.3% (5), Dark tones-black/brown: 85.7% (30). Correct answer: Dark tones |
| 13. Have you been able to move satisfactorily around the room? | Yes: 100% (35) | Yes: 100% (35) |
| 14. Did you find it a valid didactic experience for the knowledge of sculptural heritage? | Yes: 100% (35) | Yes: 100% (35) |
| 15. Did you find the experience appropriate to have more than one person in the room? | Yes: 100% (35) | Yes: 100% (35) |

Table 1: Results of cognitive tests - On-site visit test vs Virtual Reality test

The following table shows a summary from the table above of the correct and incorrect answers to questions 6-12 of the cognitive test. The other questions are not included in the table, as they are questions of personal data or personal opinion. Finally, the same table shows the success rate, i.e. the percentage of success for each group. We can see that in all the questions the percentage of success is high in the on-site visit except for the last question.

| Test Results On site Visit | | | | | | | |
|---|---------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|---------------|
| Question No. | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Incorrect | 9 | 0 | 0 | 4 | 0 | 7 | 6 |
| Correct | 26 | 35 | 35 | 31 | 35 | 28 | 29 |
| % Success On site Visit | 74,3% | 100,00% | 100,00% | 88,6% | 100,00% | 80,00% | 82,9% |
| Test Results Virtual Reality Visit | | | | | | | |
| Question No. | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Incorrect | 17 | 2 | 3 | 5 | 2 | 8 | 5 |
| Correct | 18 | 33 | 32 | 30 | 33 | 27 | 30 |
| % Success VR Visit | 51,4% | 94,3% | 91,4% | 85,7% | 94,3% | 77,1% | 85,7% |
| Difference % Success | 22,86% | 5,71% | 8,57% | 2,86% | 5,71% | 2,86% | -2,86% |

Table 02: Summary and comparison results of cognitive tests

As can be seen in all the questions, better results are obtained in the on-site test than in the VR test, except for the last question, which is a visual memory.

The following table has been calculated using the following formula to obtain the transformed mark for each question out of 10 points.

$$\text{Transformed mark} = \frac{7 - A}{10 * 7}$$

where A = the number of incorrect questions.

0 = no incorrect questions

1 = 1 incorrect question

2 = 2 incorrect questions

3 = 3 incorrect questions

successively

Then, the weighted average of all transformed marks of all questions is taken.

| | |
|----------------------------------|------|
| AVERAGE GRADE TEST ON-SITE VISIT | 8,98 |
|----------------------------------|------|

| | |
|-----------------------|------|
| AVERAGE GRADE VR TEST | 8,49 |
|-----------------------|------|

Table 03: Final average grade of the cognitive tests.

5.2. Biological test:

The sample consists of 70 people, 53% (37/70) of whom are male and 47% (33/70) female, with a mean age of 45 ± 12 years (minimum 12 and maximum 71 years). Each of the groups is composed of 50% (35 participants) of the sample. No statistically significant differences were found between the two groups in relation to gender or age.

Results for the Museum Group (on-site visit):

Participants in the Museum Group had an anticipatory stress of $143\,766 \pm 130\,325$ AAS IU, with a decrease of $39\,645$ AAS IU, with no statistically significant differences ($p=0.136$), to $104\,121 \pm 85\,004$ AAS IU after the museum visit. With respect to cortisol, anticipatory stress was 0.18 ± 0.13 IU, with a decrease of 0.02 IU, with no statistically significant difference ($p=0.466$), to 0.16 ± 0.11 IU after the museum visit. No statistically significant differences were found between changes in ASA and/or cortisol and the rest of the variables in the Museum Group.

Results for the Virtual Reality Group:

Virtual Reality participants had an anticipatory stress of $66\,397 \pm 49\,508$ IU AAS, with an increase of $14\,925$ IU AAS, with no statistically significant differences ($p=0.307$), to $81\,322 \pm 70\,023$ IU AAS after wearing the VR goggles. With respect to cortisol, anticipatory stress was 0.13 ± 0.08 IU, with an increase of 0.01 IU, with no statistically significant difference ($p=0.478$), up to 0.12 ± 0.09 IU after wearing the VR goggles. No statistically significant differences were found between changes in ASA and/or cortisol and the rest of the variables in the VR Group. 97% (34/35) of the participants in this group considered that "they were able to move freely and satisfactorily around the room. 100% of the sample found Virtual Reality to be "a valid didactic experience for learning about sculptural heritage". This can be seen in Fig. 07.

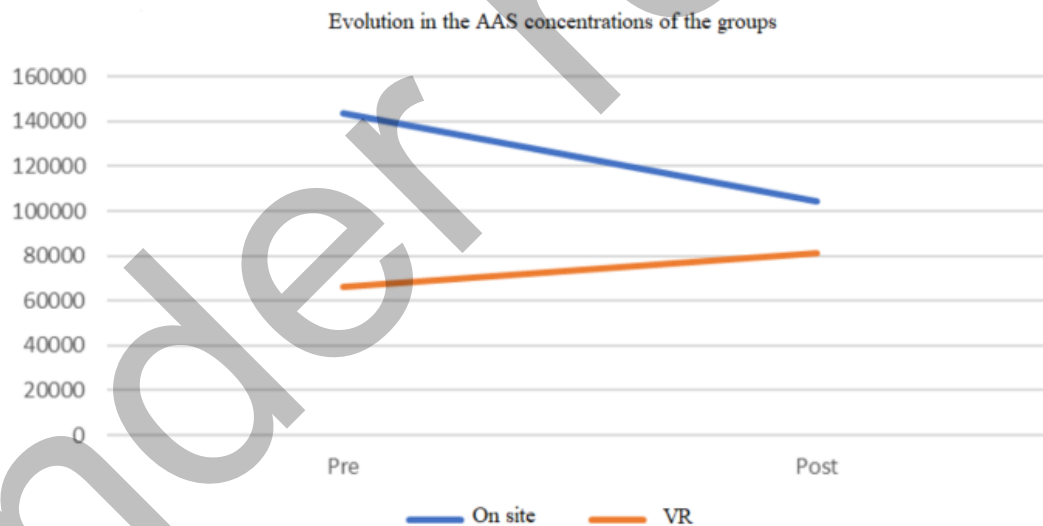


Fig. 07: Evolution in the AAS concentrations of the groups. Mean Values.

Comparison between groups:

In the Museum Group 72 % (25/35) of the participants did have a previous guided tour and in Virtual Reality Group 63 % (22/35) did have a previous experience with Virtual Reality glasses. There were no statistically significant differences between the Museum Group (9.4 ± 1 points) and the Virtual Reality Group (9.25 ± 0.74 points) in the evaluation of the experience. There are no statistically significant differences in the scores between people who had taken a previous guided tour (for the Museum Group) or had used the Virtual Reality glasses (for the VR Group), compared to those who had not.

Anticipatory stress was higher for participants in the Museum Group compared to the Virtual Reality Group, with a mean difference of $77\,369 \pm 23\,564$ AAS IU [(95%CI 30 346 -124 392) $p = 0.002$]. With respect to cortisol there is no statistically significant difference ($p = 0.225$) between the increases in both groups. In post-intervention stress there are no statistically significant differences neither for ASA ($p = 0.085$) nor for cortisol ($p = 0.217$).

The (post-post) increase in ASA was higher for GRV participants compared to GM, with a mean difference of $54\,570 \pm 23\,372$ IU ASA [(95%CI 7 930 - 101 210) $p = 0.023$] (fig. 08). With respect to cortisol there is no statistically significant difference ($p = 0.227$) between the increases in the two groups.

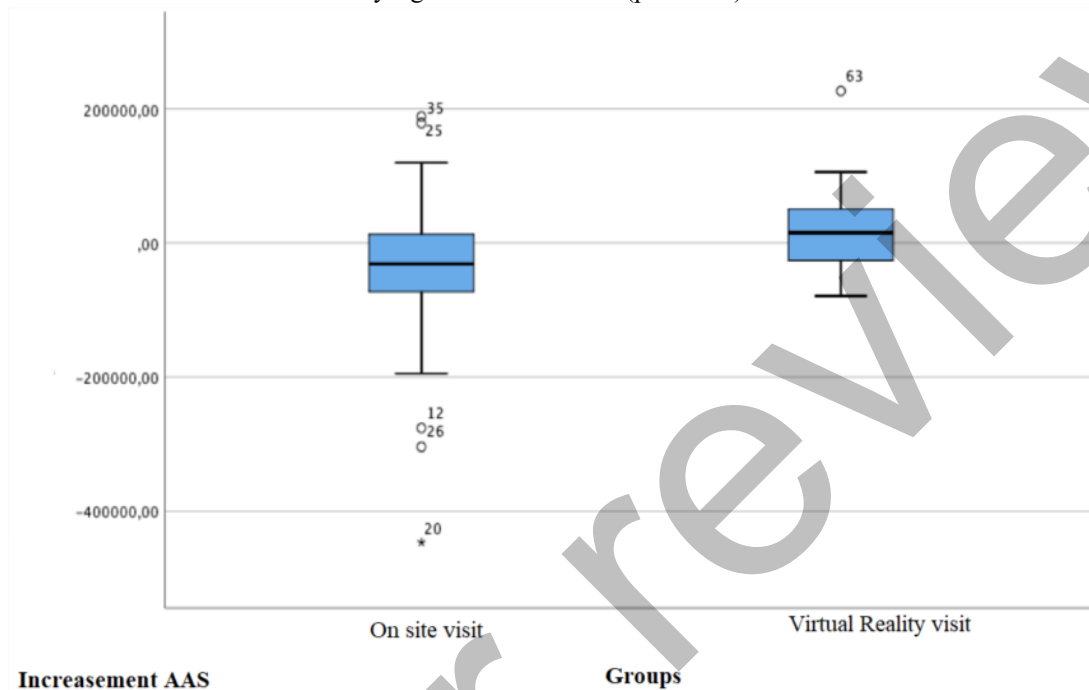


Fig. 08. Box diagram of AAS increases for both study groups.

5.3. Usability test:

| User | 1. I think I would like to use Virtual Reality (VR) frequently. | 2. I found VR unnecessarily complex. | 3. I thought VR was easy to use. | 4. I think I would need the support of a technician to be able to use VR. | 5. I found that the various functions of VR were well integrated. | 6. I thought there was too much inconsistency in VR. | 7. I imagine most people would learn to use VR very quickly. | 8. I found the VR very cumbersome to use. | 9. I felt very confident using the VR. | 10. I needed to learn a lot of things before I could get started with VR. | |
|--------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|---|---|--|--|---|---|---|--|
| 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 | 1 | |
| 2 | 5 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | |
| 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | |
| 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 5 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 6 | 1 | 2 | 4 | 4 | 5 | 2 | 4 | 1 | 4 | 3 | |
| 7 | 4 | 1 | 5 | 1 | 4 | 1 | 4 | 2 | 4 | 1 | |
| 8 | 4 | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 4 | 1 | |
| 9 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 5 | 3 | |
| 10 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 11 | 4 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | |
| 12 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 13 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | |
| 14 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 15 | 5 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2 | 5 | 1 | 5 | 1 | |
| 16 | 4 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | |
| 17 | 4 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 5 | 1 | |
| 18 | 5 | 1 | 4 | 2 | 5 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | |
| 19 | 5 | 1 | 4 | 4 | 5 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | |
| 20 | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | |
| 21 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 22 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 1 | 4 | 2 | 5 | 1 | |
| 23 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 24 | 4 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | |
| 25 | 5 | 2 | 4 | 4 | 5 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 26 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | |
| 27 | 5 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 5 | 1 | 5 | 1 | |
| 28 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 5 | 3 | |
| 29 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | |
| 30 | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | |
| 31 | 5 | 1 | 4 | 1 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 1 | |
| 32 | 4 | 1 | 5 | 1 | 4 | 2 | 4 | 1 | 4 | 2 | |
| 33 | 5 | 5 | 5 | 2 | 5 | 1 | 4 | 1 | 5 | 2 | |
| 34 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| 35 | 4 | 3 | 4 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | |
| Media | 3,9714 | 1,8 | 3,82857 | 2,22857 | 4,22857 | 2 | 3,8571 | 1,6285 | 4,1428 | 1,8 | |
| | Average of 1,3,5,7,9 = | | 15,02857143 | | | | | | | | |
| | Average of 2,4,6,8,10 = | | 15,54285714 | | | SUS Score = | 76,4285 | SUS Score = | (Average of 1,3,5,7,9+Average of 2,4,6,8,10) * 2,5 | | |

Table 04: Results test SUS

SUS yields a single number that represents a composite measure of the overall usability of the system under study. Note that individual element scores alone are not meaningful. To calculate the SUS score, first add up the contributions of each user. For items 1, 3, 5, 7 and 9, the score contribution is the position on the scale minus 1. For items 2, 4, 6, 8 and 10, the contribution is 5 minus the position on the scale. Finally, the sum of the scores is multiplied by 2.5 to obtain the overall SUS value. SUS scores range from 0 to 100.

By obtaining a SUS score of 76.428 (table 04), we can qualify the virtual experience as Good, as it exceeds the 68 points indicated by the method itself as a threshold or average value, which corresponds to a percentile range of 50% (<https://measuringu.com/sus>) (fig. 09).

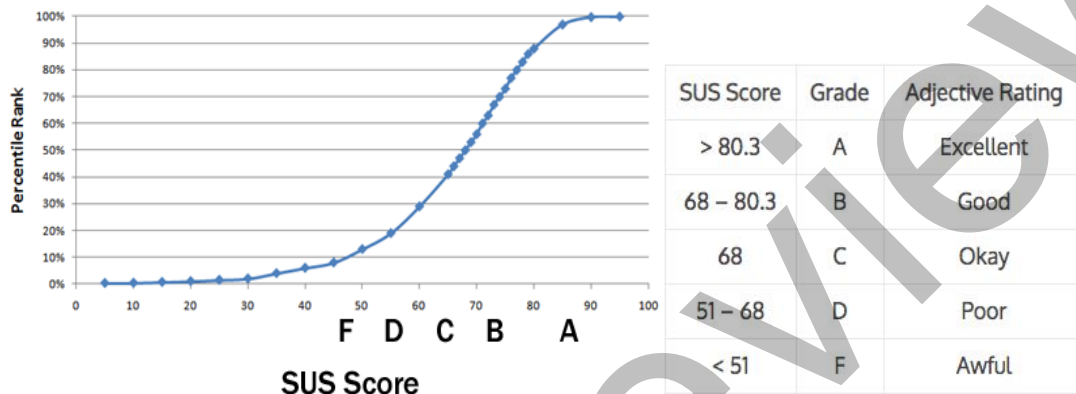


Fig. 09: Percentage range of SUS. Source: Jeff Sauro, PhD

6. Discussion of experience and virtualization

With regard to the results obtained in the biological tests, no significant differences in terms of increases in the concentrations of this compound were observed between the VR and in-person groups with respect to cortisol. A priori, in the literature, variations in this hormone are correlated more with effects associated with chronic stress, i.e. due to physical causes. Therefore, the results derived from its analysis in our study are discarded.

On the other hand, as AAS is a hormone closely related to adrenergic stress, it has a more direct correlation with psychic or acute stress situations, based on stimuli, such as the experience of visiting a museum under analysis in the present research.

First of all, it is worth noting that the statistics show that with respect to the sex and age of the volunteers, no significant differences are found in the increases in enzyme concentration in both the in-person and RV groups. Therefore, these variables are discarded, focusing the interest of the analysis on the general set of the groups, containing the totality of their members. At the same time, both groups show a homogeneous composition in terms of number of members, and averages by sex and age.

In this sense, it is worth highlighting, on the one hand, the average anticipatory stress of each of the groups under analysis, which in the case of the on-site group is significantly higher than in the case of the RV (143766 vs. 66297 UI). One possible reason is that the on-site group was objectively familiar with the place of their visit, the object of this test, while the RV group, being in a remote location, and a priori disconnected from the museum space, had a less objective character. In both cases, it was a prerequisite for selection that they had not previously visited the museum.

Precisely because of the disparity between the two levels of anticipation, the interest of the statistical analysis focuses on the variation in the concentration of AAS in each of the two groups, with disparate results being observed in each group. Specifically, the VR group had higher salivary alpha amylase levels with statistically significant differences ($p=0.023$). On the other hand, the in-person group showed a negative mean variation, with the concentration decreasing from 143mil to 104mil IU. The interpretation

of this result leads us to describe a state of relaxation or pleasurable sensation, as the level of stress in the members is significantly reduced. In the RV group, on the other hand, the average increase in AAS concentration is positive, increasing from 66,000 to 81,000 IU. Therefore, an objective stimulation of the subjects in this group can be detected, in principle attributable to the use of the technology. However, this is a moderate increase, which, together with the high average score obtained by the group in the cognitive tests and the result of the use of the technology, is the result of a moderate increase in the AAS concentration of the subjects.

In the cognitive test, both groups, face-to-face and virtual, obtained a very high score of 8.98 and 8.49 respectively out of 10. As can be seen in the percentages of the results in table 1, those in the face-to-face visit obtained higher scores in the questions on information retention, that is, they got more questions right that dealt with information that was told to them verbally during the visit. While those in the virtual reality group scored higher on questions with a visual effect, such as the colour of the walls. Although both groups got a large number of correct answers, this difference is observed.

With regard to the SUS test, this was only administered to VR users. The rating obtained according to the scale and its interpretation, together with the results of the increase in enzyme levels, gives validity to the results and detracts from the subjects' adaptation to the technology itself. After analysing all the results, such as those of the cognitive test, we can assure that VR and the use of VR headset do not a priori represent a barrier to access to the experience, regardless of the age of the subjects.

7. Conclusions.

In conclusion, the biological tests conducted as part of this study provided valuable insights into the physiological responses of the participants during the in-person and virtual reality (VR) visits. Although no significant differences were observed between the two groups in levels of cortisol, a hormone associated with chronic stress, analysis of anticipatory stress, specifically salivary alpha amylase (SAA) concentrations, revealed intriguing patterns.

Notably, the level of anticipatory stress in the face-to-face group was significantly higher than in the VR group. This discrepancy is likely due to the face-to-face group's inherent familiarity with the physical location, which may have induced a sense of relaxation or comfort. In contrast, the VR group showed a moderate increase in AAS concentration, potentially attributed to the stimulating nature of the VR technology.

Further investigation into cognitive performance highlighted the remarkable scores of both groups on the cognitive test. While the face-to-face group excelled on questions related to verbal information, the VR group showed their strengths on questions related to vision, such as identifying the colour of walls. This divergence underlines the different cognitive involvement between the two experiences.

The System Usability Scale (SUS) test was administered exclusively to VR users, revealing a favourable rating which, coupled with the physiological findings, reinforces the validity of the results. The combined evidence suggests that VR, along with the use of VR headsets, does not inherently present a barrier to accessing the museum experience, regardless of the age of the participants.

In essence, while cortisol results showed no significant variations, analysis of AAS concentrations and cognitive performance revealed nuanced differences between in-person and VR visits. These results contribute to our understanding of the physiological and cognitive aspects of museum engagement through VR technology, highlighting the potential of immersive experiences to effectively convey information and stimulate participants' senses, ultimately enriching their overall museum experience.

The results shown above highlight the potential of immersive technologies for learning, as well as the innumerable advantages they present, such as sustainability, understood as the reduction in the carbon footprint generated by museums as a result of the pollution and fuel consumption caused by the thousands of visits to museums, the printing of brochures or the departure of collections for travelling exhibitions. On the one hand, it can slow down the deterioration of works of art as a result of their overexposure to the public, especially those that are most affected by environmental factors such as lighting, temperature, etc., or simply minimise the risk posed by their exposure - accidents, vandalism, etc. -.

On the other hand, VR technology democratises access to these resources, providing practically global accessibility, especially for people with disabilities, and also for people with low resources, due to the interconnection of networks and the increasingly affordable cost of immersive technology (VR helmets). Moreover, as an educational resource, the potential is unsurpassed. All of these are particularly relevant factors to take into account when betting on XR technologies, based on the quality of the user experiences they are capable of achieving.

Finally, this study has evaluated the use of the salivary alpha amylase enzyme as a marker of enjoyment or learning using virtualisation techniques to visualise the heritage and different tests: biological, cognitive and adaptation through the SUS test. In this way, new approaches for the dissemination and visualisation of heritage have been implemented by comparing the reaction of a group of visitors to viewing heritage through Virtual Reality vs. the traditional face-to-face visit to a museum. In short, this study has proven with numerical and statistical results the consistency and validity of the tests carried out and ensures that the use of VR glasses is not a barrier or impediment to the proper development of an experience of this type.

The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose.

All authors whose names appear on the submission:

1) made substantial contributions to the conception or design of the work; or the acquisition, analysis, or interpretation of data; or the creation of new software used in the work; 2) drafted the work or revised it critically for important intellectual content; 3) approved the version to be published; and 4) agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

All data generated or analysed during this study are included in this published article.

Web References

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. "Miguel Delibes: Su vida y su obra." Acción Cultural Española. Access in August 2023. <https://www.accioncultural.es/media/DefaultFiles/flipbook/VVDelibes/index.html>

Tate. "Tate Modern Project: Grimshaw." Access in August 2023. <https://www.tate.org.uk/about-us/projects/tate-modern-project/grimshaw>.

Van Gogh Museum. "Art and Stories: Stories." Access in August 2023. <https://www.vangoghmuseum.nl/en/art-and-stories/stories>

Museum of Modern Art. "Exhibition: Julia Phillips." Access in August 2023. <https://www.moma.org/calendar/exhibitions/5248>

Louvre Museum. "The Mona Lisa in Virtual Reality in Your Own Home." Access in August 2023. <https://www.louvre.fr/en/what-s-on/life-at-the-museum/the-mona-lisa-in-virtual-reality-in-your-own-home>

Smithsonian. "Do it for the Gram." Access in August 2023. <https://dpo.si.edu/blog/do-it->

Living Madrid. "Museo Arqueológico Nacional." Access in August 2023. <https://www.livingmadrid.com/museo-arqueologico-nacional/>

Museo Salzillo. "Visita Virtual." Access in August 2023. <https://www.museosalzillo.es/visita-virtual/>

Coloraos. "Bienvenido al Tour Virtual de los Coloraos de Murcia." Access in August 2023. http://www.coloraos.com/index2.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=69.

Museo Cristo de la Sangre en Spatial.io. Access in August 2023. <https://spatial.io/s/Museo-Cristo-de-la-Sangre-62b9ee2ca3641b00014d44ba?share=6820393494683073971>

Cognitive Forms after the on-site visit: https://docs.google.com/forms/d/1jmul_8Z58PWweFp9AStweHeUg4uM-LW6SLYWbf9OPFc/prefill .

Cognitive Forms after the VR visit:

<https://docs.google.com/forms/d/1ukfsqAiW168rzaeHie51Y7sf1D9RpbHNM5a-gZrjT4g/prefill>

Form SUS test:

<https://docs.google.com/forms/d/1HHTVR2XKzRDW-1ICM5FbYuzzloOnelCD2TggJHIIHbc/prefill>,

References

Bangor A., Kortum P. and Miller J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of User Experience*, vol. 4, issue 3, pp. 114-123. <https://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/>

Baradaran Rahimi, F., Boyd, J.E., Eiserman, J.R. et al. (2022). Museum beyond physical walls: an exploration of virtual reality-enhanced experience in an exhibition-like space. *Virtual Reality*, vol. 26, 1471–1488 <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00643-5>

Bellido, M.L. and Melero, F.J. (2016). Atalayas 3D. PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, vol. 24, n°. 90, 15-16, ISSN 1136-1867. Brooke, J. (1995). SUS – A quick and dirty usability scale. Redhatch Consulting Ltd. https://www.researchgate.net/publication/228593520_SUS_A_quick_and_dirty_usability_scale

Brooke, J. (2013). SUS: A retrospective. *Journal of User Experience*. Vol. 8, issue 2, 29-40. <https://uxpajournal.org/sus-a-retrospective/>

Hamza Shahab, Mozard Mohtar, Ezlika Ghazali, Philipp A. Rauschnabel & Andrea Geipel (2022) Virtual Reality in Museums: Does It Promote Visitor Enjoyment and Learning?. *International Journal of Human-Computer Interaction*, <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2099399>

Hyunae Lee, Timothy Hyungsoo Jung, M.Claudia tom Dieck, Namho Chung. (2020). Experiencing immersive virtual reality in museums, *Information & Management*, Volume 57, Issue 5, 103229, ISSN 0378-7206, <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103229>.

Liberatore, M.J., Wagner, W.P. Virtual, mixed, and augmented reality: a systematic review for immersive systems research. (2021). *Virtual Reality* vol. 25, 773–799. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00492-0>

Melendreras, R., Marín, M.T. & Sanchez, P. (2020). Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel. *E-rph*, 27, 52–83. <https://doi.org/10.30827/e-rph.v0i27.17901>.

Melendreras, R., Marín, M.T., & Sanchez, P. (2022a). Comparative analysis between the main 3D scanning techniques: Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in religious imagery: The case of the Crist of the Blood. *Journal on Computing and Cultural. Heritage*, 15(1), article no.18, 1–23. <https://doi.org/10.1145/3469126>.

Melendreras Ruiz, R., Marín, M. T., Sanchez, P., & Martínez, J. (2022b). The sculpture of the Christ of Blood: Structural mechanical analysis based on 3D models and video techniques for the study of recurrent pathologies. *Journal of Cultural Heritage*, 54, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.001>

Melendreras Ruiz, R., Marín Torres, M. T., Sanchez Allegue, P. (2022c). Development of a Touchable Replica for Inclusive Experiences of Religious Artifacts. *Curator: The Museum Journal*, vol. 65, issue n° 2, pp. 305-331. <https://doi.org/10.1111/cura.12469>

Puig, A., Rodríguez, I., Arcos, J.L. et al. (2020). Lessons learned from supplementing archaeological museum exhibitions with virtual reality. *Virtual Reality* 24, 343–358. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00391-z>

Shehade M, Stylianou-Lambert T. (2020). Virtual Reality in Museums: Exploring the Experiences of Museum Professionals. *Applied Sciences*. 10(11):4031. <https://doi.org/10.3390/app10114031>

Roca, D.; Escribano, D.; Franco-Martínez, L.; Contreras-Aguilar, M.D.; Bernal, L.J.; Ceron, J.J.; Rojo-Villada, P.A.; Martínez-Subiela, S.; Tvarijonaviciute, A. (2022). Evaluation of the Effect of a Live Interview in Journalism students on Salivary Stress Biomarkers and Conventional Stress Scales. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 1920. <https://doi.org/10.3390/ijerph19041920>

Scavarelli, A., Arya, A. & Teather, R.J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: a literature review. *Virtual Reality* 25, 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>

Yuting Zhou, Juanjuan Chen, Minhong Wang. (2022). A meta-analytic review on incorporating virtual and augmented reality in museum learning. *Educational Research Review*. Volume 36, 100454, ISSN 1747-938X, <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100454>.

PUBLICACIONES DENTRO DEL
COMPENDIO

Comparative Analysis Between the Main 3D Scanning Techniques: Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanner, and Structured Light Scanner in Religious Imagery: The Case of The Holy Christ of the Blood

RAFAEL MELENDRERAS RUIZ, Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)
 MARÍA TERESA MARÍN TORRES, Universidad de Murcia
 PALOMA SÁNCHEZ ALLEGUE, Dronica Servicios Aéreos

In recent years, three-dimensional (3D) scanning has become the main tool for recording, documenting, and preserving cultural heritage in the long term. It has become the “document” most in demand today by historians, curators, and art restorers to carry out their work based on a “digital twin,” that is, a totally reliable and accurate model of the object in question. Thanks to 3D scanning, we can preserve reliable models in digital format of the real state of our heritage, some of which are currently destroyed. The first step is to digitize our heritage with the highest possible quality and precision. To do this, it will be necessary to identify the most appropriate technique. In this article, we will show some of the main digitization techniques currently used in sculpture heritage and the workflows associated with them to obtain high-quality models. Finally, a complete comparative analysis will be made to show their main advantages and disadvantages.

CCS Concepts: • **Hardware** → *Emerging technologies*; • **Computing methodologies** → *Computer graphics*; • **Applied computing** → *Operations research*;

Additional Key Words and Phrases: Digital photogrammetry, terrestrial laser scanner, structured light scanner, cultural heritage, 3D scanning, 3D models, workflow, dimensional control, spectrophotometer, colorimetry

ACM Reference format:

Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, and Paloma Sánchez Allegue. 2021. Comparative Analysis Between the Main 3D Scanning Techniques: Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanner, and Structured Light Scanner in Religious Imagery: The Case of The Holy Christ of the Blood. *J. Comput. Cult. Herit.* 15, 1, Article 18 (December 2021), 23 pages. <https://doi.org/10.1145/3469126>

1 INTRODUCTION

At present, there is no definitive or foolproof technique that allows the three-dimensional (3D) scanning of a wide variety of physical objects regardless of their characteristics. There are many variables that condition

Authors' Addresses: R. M. Ruiz, Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), Escuela Politécnica Superior de Telecomunicaciones, Degree in Telecommunication Technologies Engineering, Avenida de los Jerónimos, 135, 30107, Guadalupe, Murcia, España; email: rmelendreras@ucam.edu; M. T. M. Torres, Universidad de Murcia; Facultad de Letras, Art History Department, Calle Santo Cristo, 1, 30001, Murcia, España email: mtmarin@um.es; P. S. Allegue, Dronica Servicios Aéreos and PhD in Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), Avenida de los Jerónimos, 135, 30107, Guadalupe, Murcia, España; email: psallegue@gmail.com.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than the author(s) must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.

© 2021 Copyright held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.

1556-4673/2021/12-ART18 \$15.00

<https://doi.org/10.1145/3469126>

the success of this process: the location of the object' its size, shape, color, level of detail, or resolution; and the characteristics of the environment in which it is located (lighting, accessibility, etc.). The most widely used 3D scanning techniques at present are digital photogrammetry, laser scanner (terrestrial), and structured light scanner. In this article, we will study the workflows of each, execution times, results, and more applied to the particular case of a polychrome wood sculpture, that of the *Holy Christ of the Blood* by Nicolás de Bussy (1693).

Through this comparison, we intend to identify the strengths and weaknesses of each technology according to the characteristics of the object to be digitized and its environment under the premise of ensuring maximum efficiency and quality of the digital information extracted (geometry and texture or color) for future applications, such as research, partial or total reproduction of replicas for conservation purposes, exhibition, digital display, and so on.

2 STATE OF THE ART

Advances in technology are continuous—practically every day, new active and passive sensors emerge for the data capture of objects, new means of acquisition, new processing algorithms, more powerful processing devices, and software better adapted to organic and complex geometries. These allow data capture and processing to achieve some standardization through similar workflows.

Technologies are changing many aspects of our lives—the way we interact, learn, and work. There are already numerous articles on the operation of these technologies through case studies. However, as technology evolves, new comparative studies of different 3D scanning techniques are needed, studying both their surface geometry and other issues, such as the scale and fidelity of the captured color.

The techniques that prevail over the others for 3D digitization and documentation are the structured light scanner, laser scanner, and short-range photogrammetry due to the combination of characteristics that enable their use: accessible technology, lower acquisition costs, faster processing, ease of use for inexperienced users, articles describing their use, and high-precision results, among others.

Metric evaluations of heritage assets have been carried out by Remondino et al. [1], by Nabil and Saleh [2] of SfM software, by Evgenikou and Georgopoulos [3], and the use of Morena's structured light hand scanner [4].

Other authors have also focused on conducting studies focusing on white light scanners and photogrammetry—specifically, Katz and Friess [5] and Evin et al. [6] compared 3D models created by photogrammetry and a light scanner. Some also include time values (for data acquisition and processing) to evaluate the efficiency of the methods. In contrast, Girelli et al. [7] describe the integration of techniques based on 3D images and ranges, comparing the final scale and describing the data processing operations related to the digitization of objects.

In summary, previous authors suggest that photogrammetry appears to be a reliable method to obtain high-quality 3D surface models (as well as structured light ones), while structured light and laser 3D scanners appear to be more efficient. However, the meshes created in laser scanners usually do not seem to present the same quality as those created by photogrammetry.

Despite frequent evaluations of the aforementioned 3D digitizing techniques found in the literature, they quickly become obsolete due to rapid technological advances. The present study seeks to show the workflows comparing the most commonly used 3D scanning techniques in addition to evaluating certain parameters such as the geometric level of mesh processing, the scale obtained from the object, and the colorimetric quality.

3 SCULPTURAL ANALYSIS OF THE SIZE OF THE HOLY CHRIST OF THE BLOOD

The *Holy Christ of the Blood* is one of the most transcendental sculptural images in the history of Baroque art in Spain. Its dimensions are 140 × 140 × 56 cm. It was made by Nicolás de Bussy (Strasbourg, ca. 1640–Valencia, 1706), an artist who worked mainly in the old kingdoms of Valencia and Murcia, for the Archconfraternity of the Precious Blood of Murcia in 1693 [8–12]. It was for this penitential brotherhood that he produced most of his documented work. Until recently, not much information was known about his life, especially regarding

his arrival in Spain. His first biographer, the great treatise writer and painter Antonio Palomino (1655–1726), considered him to be a member of a select group that arrived at the court of Charles II with the military man and politician Juan José de Austria (1629–1679), which has not yet been proven. Thanks to the latest studies, his works have been documented in Valencia, Elche, Alicante, the Real Sitio de Aranjuez, as well as in Murcia (most of the southeast of Spain).

The *Holy Christ of the Blood* is a masterpiece because of its excellent workmanship and deep iconographic significance. It is made of polychrome wood, a technique developed especially in the Catholic world, distinctively in Spain during the Modern Age, where the imagery of Holy Week reached a high degree of perfection in the Baroque period. Its realistic character and persuasive mechanisms emotionally moved the spectators, making them participants in the sacred dramatization of the Passion of Christ. Elements such as the wig of natural hair, the crown of thorns, or the blood that emanates from the side added greater realism. From an iconographic point of view, it constitutes a unicum since it represents an ancient type of medieval origin, “Christ in the Mystical Winepress,” which is unusual in the Spanish Holy Week. It represents Christ nailed by the short arm of the cross, which he carries on his shoulders while he seems to walk, although he actually steps on the wine press. He was accompanied by five child angels collecting the blood/wine that came out of his sides, a symbol of redemption, of which he now carries only one.

From a stylistic point of view, the sculpture is characterized by its realism, its perfect anatomical study, and its great drama. The children who accompanied him, with their expressions of compassion and tenderness, gave a greater effect to the whole, typical of baroque theatricality, which the great Strasbourg sculptor knew how to handle with total mastery. From the technical point of view, it is worth noting how Bussy used cypress wood, a durable material that is highly resistant to attacks by xylophages, and how the polychrome was made with pigments agglutinated with drying oils [13]. The polychrome system has been well studied by Fernández Labaña [14], especially in the carnations, as it omitted the traditional layer of plaster or rigging, which meant that it had to be used thoroughly to leave the wood well finished, with an exquisite treatment, applying an orange layer composed of minimum pigment agglutinated in oil [14]. This is a peculiar way of working that distinguishes him from other sculptors working in Murcia in the Modern Age and that is very useful to confirm or reject undocumented authorships of his works.

The restorations that have been carried out in the work have allowed us to have a better knowledge of the sculptural process. Unfortunately, the *Holy Christ of the Blood* was practically destroyed in the Spanish Civil War (1936–1939), “with great loss of support and cracks” [13], especially one that ran along the chest and tore part of the calf and ankle of the right leg and that, at present, is still a particularly sensitive and problematic area despite the restorations. The body was fragmented into 30 parts, which were collected by the artist Clemente Cantos, recomposed without the head (recovered later) by the sculptor Juan González in October 1939, and identified by the Murcia Artistic Treasure Board (Figure 1). The head was charred and the nose had practically disappeared. However, the sculptor José Sánchez Lozano took charge of the total restoration of the carving, with the repolymerization of the head and adaptation to the body, work which was completed in 1941. Only two children were found, who were also operated on at that time.

Both sculptors González Moreno and, fundamentally, Sánchez Lozano, contributed to the important recovery of this unique image, with the re-polychrome of the devastated areas and the reintegration of the lagoons with oil. Subsequently, small one-off interventions were carried out until 1991, when it was restored in the Museum of Fine Arts in Murcia, due to the opening of cracks and its general state of deterioration. The problem of the crack in the leg was then corrected with a stainless steel rod to absorb the movements that originated in the work described in [13]. New wooden spikes were included in the left arm, reintegrating all of the gaps with the elimination of repaints while respecting the repaints of the face since, due to the fire, the original polychrome had not been preserved.

The most transcendental intervention was carried out by the Restoration Center of the Region of Murcia between 2003 and 2004 (Figure 2) after the alterations of the reintegration and the opening of cracks again [13,

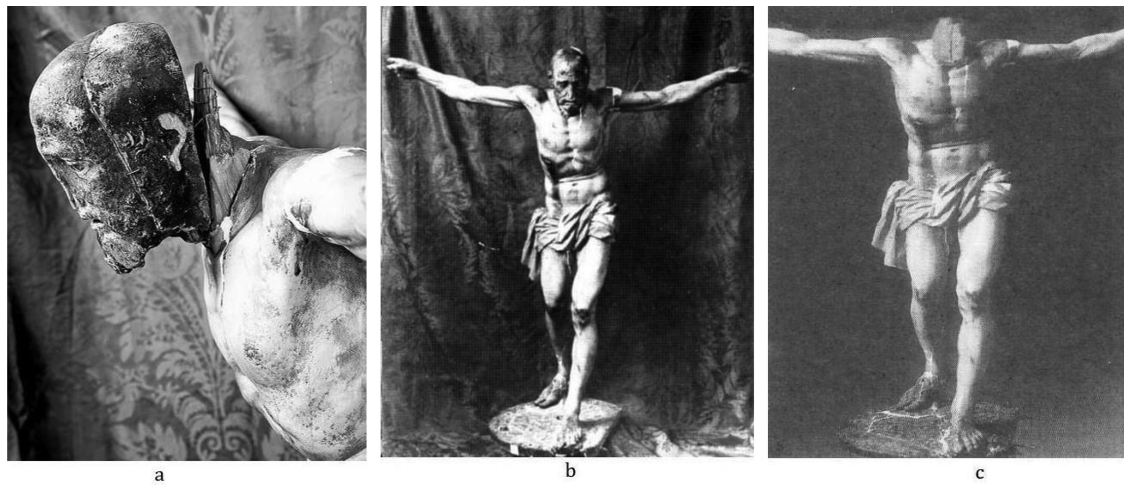


Fig. 1. (a) and (b) Images of the destruction that took place in 1936 on the carving of Christ [15]. (c) Photo of the Cristo de la Sangre before incorporating the head—Cristobal Belda (1940) [13].

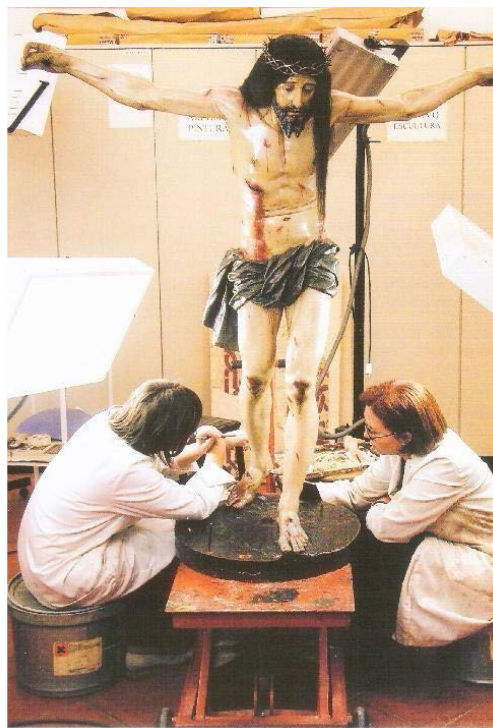


Fig. 2. Restoration of the *Cristo de la Sangre* in 2004 [13].

16]. Techniques such as ultraviolet light to study the alteration of the repainting and endoscopic exploration to analyze the internal state of the wood and the sculptor's working techniques confirmed that González Moreno joined the fragments and stuccoed joints and cracks, and that Sánchez Lozano restored the burnt head, closed the box of the body of the sculpture, and reintegrated the polychrome of the image. Other techniques—such as stratigraphic and analytical studies in order to determine the materials and pigments used—corroborated Bussy's procedures and determined which was the original polychrome. As noted earlier, Bussy used a single layer of original paint, mostly flesh paint, over which was superimposed the one simulating blood, “from a thick layer of red lacquer, as a glaze, over a thin opaque red background, applied over the flesh” [16]. The pigments used show how some would be used later in possible interventions before the middle of the 19th century and after this date. In the opaque and transparent whites were found gypsum, albayalde, calcium carbonate, barium white, and zinc white; in the black, charcoal was found. In the red colors was found the earth rich in iron oxide, vermilion, red lacquer, and shaded earths. There are also blue, orange and brown colors [16].

X-rays taken at the Ibermutuamur Clinic helped to distinguish new nails from old ones and facilitated the study of the original joints and forging nails, the types of wood, and the clarification of the joints. Mainly, it shed light on the intervention of Sánchez Lozano in the head. This consisted of additions to the nose and bearded tufts as well as their total repolymerization [13]. After all of these previous studies, we proceeded to its intervention, betting for an illusionist reintegration, being a sculpture devotion and public cult, differentiated with the techniques of *regattino* and *puntello*. Through a color sitting, deep-cleaning tasting, and physical-chemical cleaning—with the elimination of oxidized varnishes, dirt, and repaints—the removal of old stuccos was carried out and replaced by new ones, with the chromatic reintegration of gaps and the application of protective varnishes. A whole intervention was performed that allowed not only the improvement of image conservation but also the study of Nicolás de Bussy's sculptural techniques.

4 3D DIGITIZATION TECHNIQUES FOR HERITAGE PRESERVATION AND WORKFLOW DESCRIPTION

4.1 Main 3D Digitization Techniques for Heritage Preservation

There is a very wide variety of techniques for 3D scanning. In some, it is necessary to have previous technical knowledge of scanning and 3D processing. Others are accessible to more basic users. Generally, all digitization techniques have certain advantages and disadvantages depending on the object to be digitized [17]. The main challenge in obtaining a 3D technology of the highest geometric quality and resolution lies first in identifying the most appropriate model and second the application of the most suitable method or workflow. In this article, we will show the main advantages and disadvantages plus similarities and differences of the most commonly used digitization techniques in sculptural heritage (Figure 3).

All of the techniques to be considered by our studio are “non-contact” techniques, because they do not need to physically touch the object. Digital photogrammetry is a passive technique based on the Structure from Motion (SFM) system, while the terrestrial laser scanner and the structured light scanner are Active Optical Reflection Triangulation techniques (Figure 4).

For photogrammetry digitization, the Sony Alpha 7R reflex camera with a Sony SEL50F1.8 fixed focal length 50-mm lens was used. The terrestrial laser scanner used was the Faro Focus S150 and the Artec Eva structured light scanner. The choice of these three 3D digitization techniques was made due to their relevancy to this study and our experience in their use.

Digital photogrammetry consists of a technology based on the detection and homologation of significant and common points in a quantity of images to obtain 3D objects. We mainly use it to document small objects without the need to obtain high accuracy or to quickly document heritage objects that may be in places difficult to access, where the use of 3D scanners is very complicated. Digital photogrammetry has been shown to provide accurate data. However, it presents significant problems in low-light environments, dark surfaces, or reflective objects

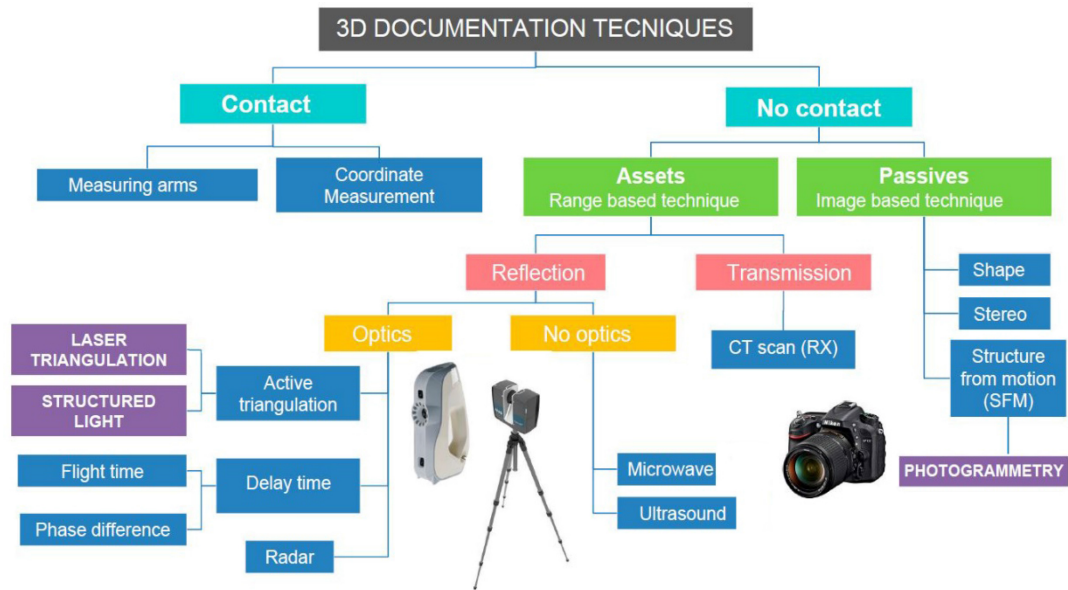


Fig. 3. Diagram of the main 3D scanning techniques.

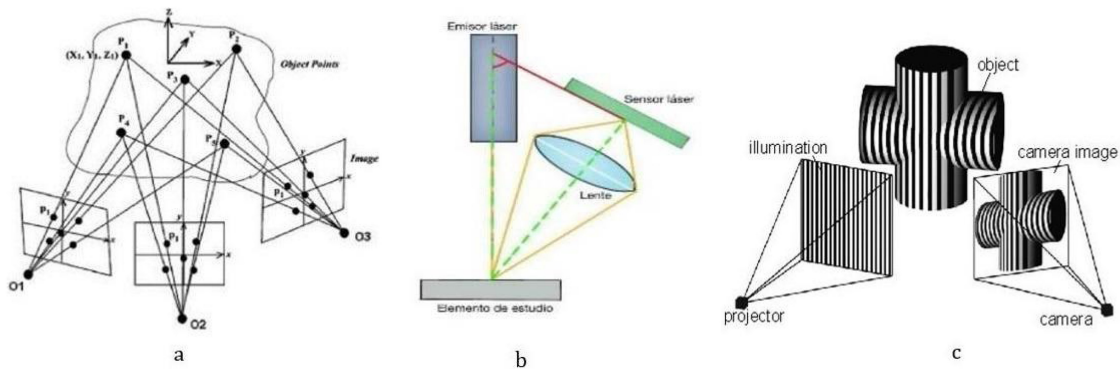


Fig. 4. Theoretical explanation of 3D scanning techniques: (a) photogrammetry, (b) laser scanner, (c) structured light scanner.

[18]. It is a method with which models can be obtained relatively quickly but with little precision especially in scale if visual metric references such as scale bars are not used. In addition, in general, it is necessary to make many images or photographic sessions in an environment of very controlled and constant luminosity. The description of this technique and its workflow is provided in [19]. The terrestrial laser scanner is a long- or medium-range scanner that uses active triangulation technology, in which the emitted laser bounces off the surface of the object and returns the laser pulse to the scanner. A calculation method that combines the distance between the scanner and the object, the speed of light and the time of flight of the laser pulse will result in the point cloud of the object. This is a scanner suitable for obtaining precise and high-resolution models of large surfaces or objects [20]. However, as we will see throughout the article, it is unsuitable for objects of medium to small size or of significant geometric complexity.

The structured light scanner also uses active triangulation technology. However, unlike the terrestrial laser scanner, the structured light works by projecting a pattern of white or blue light onto the object instead of a laser pulse. The light pattern (usually a series of stripes or dot matrix) is projected onto the object using a projector, while the scanner's cameras observe the light pattern and calculate the distance to each point in the field of view. The main advantages of this technology are speed, accuracy, and high resolution. It is currently the most suitable technique for digitizing medium to small heritage objects with a high level of detail and geometric composition. In addition, it obtains high quality in the capture and replication of the object's real textures and colors [21].

It should be noted that digital photogrammetry and laser scanner techniques are long-range capture techniques, while the structured light scanner is a short-range scanner.

4.2 Description of the Workflow for 3D Scanning by Terrestrial Laser Scanner and Structured Light Scanner

We will start with a description of the workflows of the terrestrial laser scanner and structured light scanner techniques since photogrammetry techniques performed on the carving of the *Holy Christ of the Blood* is already described in another article [19].

The digitization workflow of these two techniques, as was proved with photogrammetry, is mainly divided in two well-differentiated phases—data taking and processing of the data—although with small differences that will be described next.

It is considered necessary to include the following information about the process of photogrammetry to introduce this method also for comparison although the process is described in [19].

As mentioned earlier, a Sony Alpha 7R camera was used with a Sony SEL50F 1.8 lens with a 50-mm fixed focal length and ISO 100. The resolution chosen was the maximum of the camera's sensor, 36.4 Megapixels in RAW format, the pitch being 4.88 μm pixel size. For the lighting of the photographic session, halogen and LED bulbs were used, adjusted to 5500K of temperature (cold light) to preserve the colors of the polychrome, and to which diffusers were attached to try to minimize glare. By adjusting the lighting in this way, it was decided not to use a white balance using a color chart. The images were masked, that is, the background was eliminated in each photograph, in order to keep only the information that interests us. During the image-taking process, chroma key type backgrounds were used due to their high contrast facilitating this discrimination operation. Most of the images were captured on a tripod except for the images belonging to the upper areas—head, hands, and so on. Scale bars were used to adjust the scale deviation. The software chosen for processing was Agisoft Photoscan Professional.

The comparison of the 3 techniques will be carried out studying some technical aspects, level of detail, surface noise, processing time, dimensions, and more, as seen in Table 1.

4.2.1 Workflow Description for 3D Scanning with the Artec Eva Structured Light Scanner.

4.2.1.1 Analysis of the Environment for the Acquisition of Digital Information. As happened with the digitalization of the *Holy Christ of the Blood* by digital photogrammetry, it is necessary to adapt the working environment where the Christ is located because it is permanently exposed to the congregation in the Chapel of the Bell attached to the main building of the Church of Carmen in Murcia and the Museum of the Archconfraternity of the Precious Blood (Murcia, Spain).

Therefore, it is necessary to lower the carving of the Christ from its altar to the floor in order to scan the whole surface of the object in a more comfortable and adequate way. The operating distance of the Artec Eva structured light scanner is between 0.4 and 1 m. Therefore, it will be necessary to have at least one meter of free space around the object.

As far as the lighting conditions of the environment are concerned, this scanner does not need artificial light support as it has a built-in flash, which produces a constant and uniform light source, illuminating the object along its surface and obtaining a high-quality texture and color similarity.

Table 1. Comparison of the 3D Scanning Techniques

| METHODOLOGY | PHOTOGRAMMETRY | STRUCTURED LIGHT SCANNER | LASER SCANNER |
|--|---|---|---|
| MODEL | Sony Alpha 7R | Eva Artec 3D | Faro S150 |
| SOFTWARE | Agisoft Photoscan | Artec Studio 14 | Scene |
| APPLICATION | | | |
| ENVIRONMENTAL ADAPTATION | | | |
| Operating distance | Variable | 0.4–1 m | 1.5–2 m |
| Lighting control | Yes | No | No (yes for texture) |
| Markers | No (advised) | No | No (advised) |
| Scale bars | Yes | No | No |
| DATA ACQUISITION | | | |
| Data collection | Manual | Manual | Automatic |
| Capture method | Photographic | Geometry + Texture | Geometry + Texture |
| Scan speed | – | 11 FPS | 15 minutes/scan |
| Number of positions | 1137 photographs | 37 scans | 14 scans |
| Capture time | 16 hours (4 sessions) (4 hours/session) | 1 hour | 4 hours |
| DATA PROCESSING | | | |
| Hardware | CPU: Intel Core i7 8Gen 3, 2GHz RAM: 16 GB Graphic card: GeForce RTX2080 8 GB SSD 500 GB | CPU: AMD Ryzen 9 3900 × 3.8 GHz BOX RAM: 32 GB (Corsair Vengeance LPX DDR4 3200 PC4-25600 32 GB 2 × 16 GB CL16) Graphic card: RTX 2060 (Gigabyte GeForce Super Windforce OC 8 GB GDDR6) 1 TB SSD y 2 TB HDD | CPU: AMD Ryzen 9 3900 × 3.8 GHz BOX RAM: 32 GB (Corsair Vengeance LPX DDR4 3200 PC4-25600 32 GB 2 × 16 GB CL16) Graphic card: RTX 2060 (Gigabyte GeForce Super Windforce OC 8 GB GDDR6) 1 TB SSD y 2 TB HDD |
| Processing time (registration, gaps-filling) | 3883 minutes (2 days, 16 hours, 33 minutes) | 2 hours | 30 minutes |
| RESULTS | | | |
| Processing time (registration, gap-filling) | 4843 minutes (3 days, 8 hours, 33 minutes) | 180 minutes | 270 minutes (4 hours, 48 minutes) |
| Noise | Low (masks) | Medium | High |
| 3D mesh quality | Medium | High | Low |
| Texture | Extra high | Extra high | Low |
| Number of points | 49.845.771 | 85.771.521 | 1.865.599 |
| Number of polygons | 9.969.242 | 10.000.000 | 584.308 |
| Resolution | - | 0.3 mm | 3 mm/10 m |
| Volume | 0.068 | 0.066 | 0.069 |

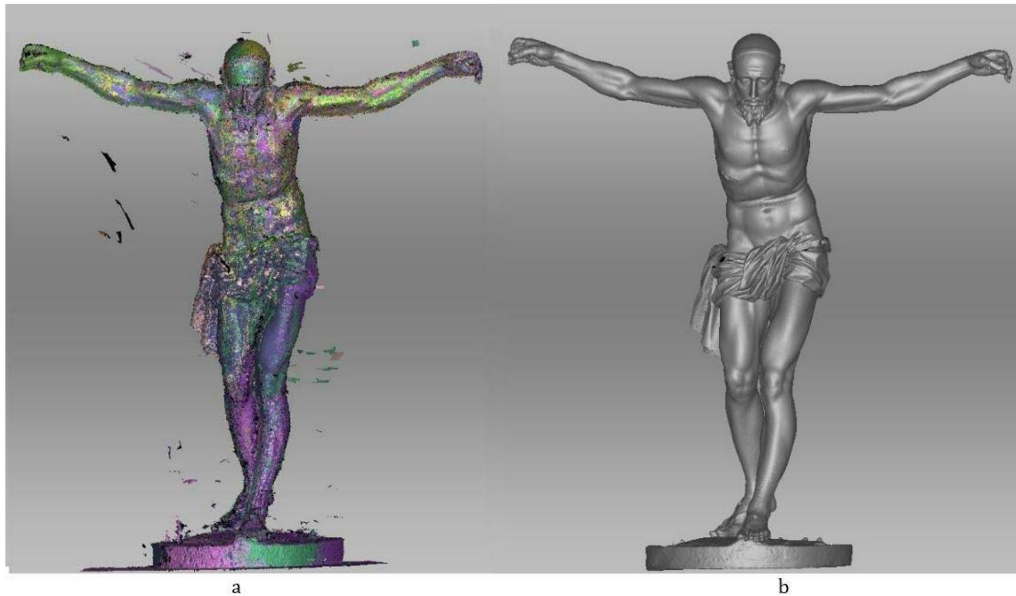


Fig. 5. (a) Point cloud after alignment. (b) 3D mesh obtained after processing with the Artec Eva structured light scanner.

4.2.1.2 Data Capture. Before starting the manual scanning of the object, it is worth mentioning that the Artec Eva structured light scanner does not need markers or scale bars, as this scanner captures the object in real scale with great precision. It has a scanning area of height \times width in the near range of 214 mm \times 148 mm and in the far range of 536 mm \times 371 mm.

Starting with the description of the working process of scanning with the Artec Eva structured light scanner, we will use the following technical parameters in the Artec Studio 14 scanner software:

- Scanning method: Geometry + Texture
- Scanning speed: 11 FPS
- Depth of field: Near, 400 mm; far, 1000 mm
- Flash: On
- Texture: Adjusting the brightness of the texture manually (user)
- Real-time merging

We will start by using the scanner preview to adjust these parameters and the brightness of the texture color, which can be seen and adjusted only in this mode. Then, we will proceed to scan, observing in real time the parts that are being captured since we have chosen the option of real-time fusion. A total of 37 scans were made in 1 hour.

4.2.1.3 Data Processing. The processing of the data acquired by the Artec Eva structured light scanner will also be carried out in the Artec Studio 14 software, and will involve a series of actions described here:

- Alignment of the scans: It is necessary to align the 37 scans with each other. For this purpose, the alignment method has been chosen from 3 points. Figure 5(a) shows the result of the alignments made in the digitalization of the *Holy Christ of the Blood*. Each color of the point cloud corresponds to a different scanning session.

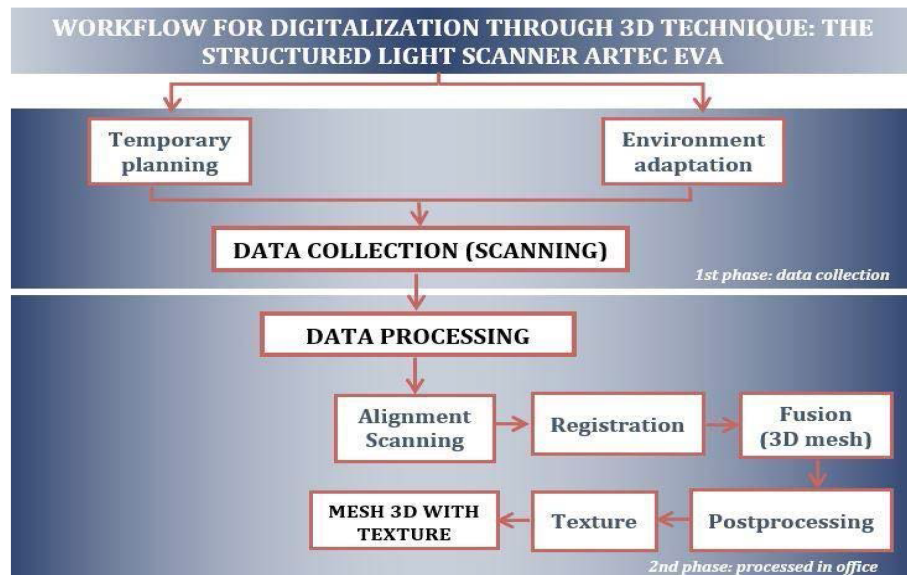


Fig. 6. Workflow diagram—Artec Eva structured light scanner.

- Registration: First, a fine registration has been made with the algorithm of geometry and texture and, later, a global registration with the algorithm: geometry and texture. This algorithm selects geometrical points from each scan frame and compares them to each other, obtaining information about the relative positions of each point pair. In this way, it corrects possible errors or failures of the previous alignment, optimizing the position of all of the frames in a global coordinate system.
- Removal of noise and other data: This process allows us to remove the base (ground) or other outliers or noise that are not attached to the main surface.
- Merging: This consists of the creation of the 3D mesh, using the smooth merging mode, with 0.3-mm resolution. We obtain a mesh of 51,163,728 million polygons (Figure 5(b)).
- Post-processing: Tools are used to repair and close the mesh (small object filter, hole filling, mesh simplification, isotropic re-meshing, etc.). It should be noted that a model with non-significant holes in relation to the object's dimension was obtained.
- Color layer: Creation of the texture from selected scans in .jpg format and size 4096×4096 with a resolution of 120 pixels per inch (dpi).

Figure 6 shows the summary diagram of the workflow established with the Artec Eva structured light scanner technique.

4.2.2 Workflow Description for 3D Scanning with the Faro Focus S150 Laser Scanner.

4.2.2.1 Analysis of the Environment for the Acquisition of Digital Information. In the case of the laser scanner, as with the other techniques, it is necessary to adapt the working environment. It will be necessary to lower the Christ from its altar to the floor in order to scan the entire surface of the object properly. The operating distance of the Faro Focus S150 laser scanner is 0.5 m. However, to increase the accuracy of the 3D model and capture the full scale, spherical markers are used on the perimeter. This circumstance and the need to place the scanner on a tripod to perform the capture from various heights increase that distance by at least 1.5 to 2 m around the object. As for the lighting conditions, although this scanner does not need any kind of illumination to capture

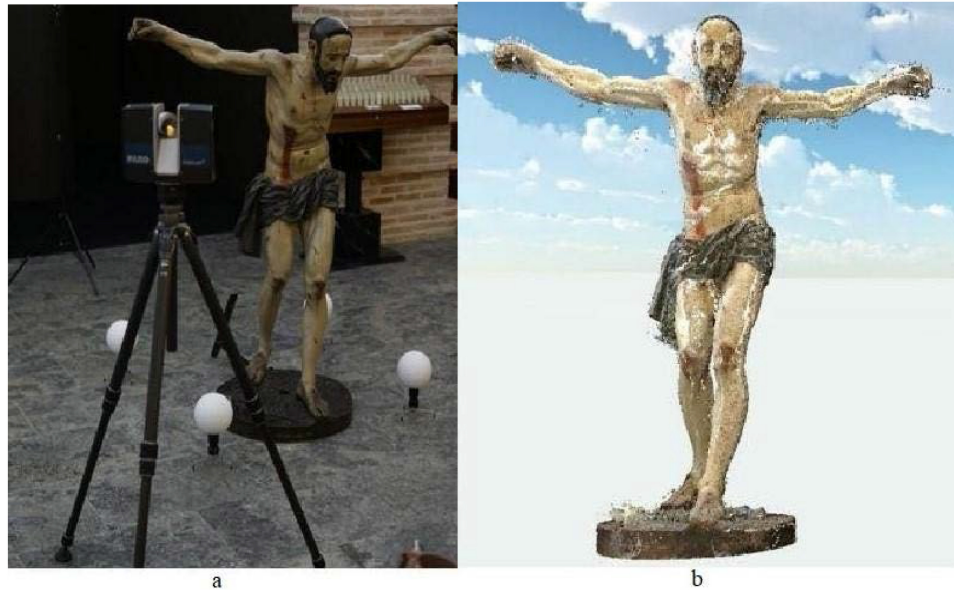


Fig. 7. (a) Data capture. (b) Point cloud obtained from the Faro Focus S150 laser scanner.

the geometry of the object, it does need uniform artificial lighting along the entire surface of the object for the correct capture of the texture.

4.2.2.2 Data Capture. As can be seen in Figure 7(a), one begins by placing 4 spherical markers around the Christ in a position close to the object to be scanned but which do not interfere with the vision between the scanner and the object to be scanned. The following parameters were selected on the scanner:

- Method: Scanning in window
- Resolution: 3 mm/10 m.
- Quality: 3×
- Scanning with color: Yes

Then, the scanner is placed in different positions with height variation to reach the capture of all data. A total of 14 scanning positions were carried out in approximately 4 hours of data capture.

4.2.2.3 Data Processing. Processing of the data obtained from the Faro Focus S150 laser scanner takes place in the Scene software and involves the following actions:

- Importing the scans.
- Processing the scans: Consists of creating the point clouds of the independent scans, coloring these point clouds from the 360-degree images made by the laser scanner, and searching for sphere targets. Figure 6(b) shows the resulting cloud obtained for the *Holy Christ of the Blood*.
- Registration of the scans: It will be used in an automatic registration method based on sphere targets to obtain the point cloud.
- Clean: Because the Faro Focus S150 laser scanner scans in 360 degrees and although we have used the window scanning method, we must clean the cloud because it captures points from the bottom of the room, which we do not need.

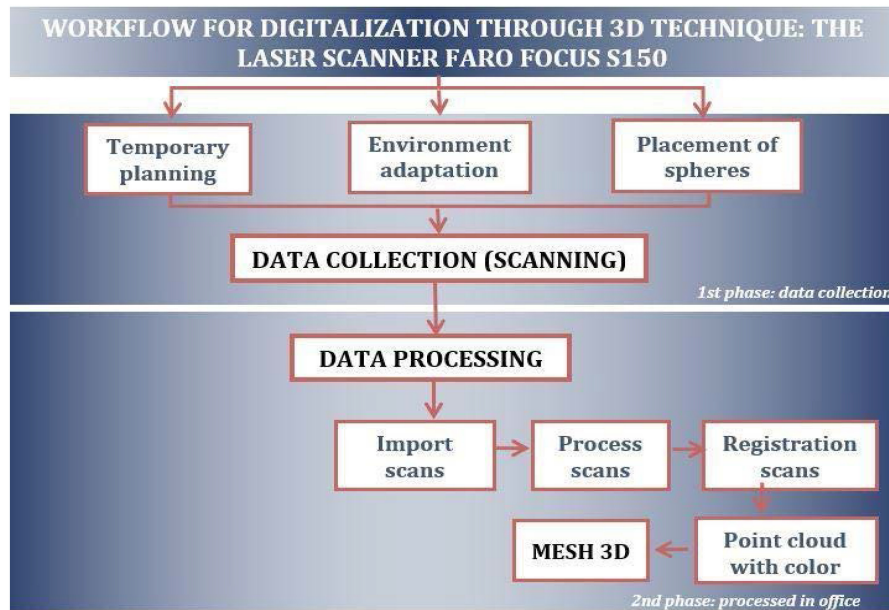


Fig. 8. Workflow diagram for the Faro Focus S150 laser scanner.

- Creation of 3D mesh from selection: Watertight (so that it closes the gaps); generate texture and maximum number of triangles.

The workflow established with the technique of the Faro Focus S150 laser scanner is shown in Figure 8 [22].

5 COMPARISON BETWEEN DIFFERENT 3D SCANNING TECHNIQUES

The results obtained by digital photogrammetry were acceptable, although a lack of precision in detail is detected in the smaller objects and specific details.

In turn, the texture records were also satisfactory, observable on visual inspection. However, the digitization process with this technique is too long, as can be seen in Table 1 and is too laborious to obtain a quality model, as several photographic and verification sessions are necessary in addition to the processing and post-processing time of the data, as described in [19]. For these reasons, there was interest in making a comparison with the laser scanner and structured light scanner techniques.

After detailing the optimal workflow required for each selected scanning technique, our analysis focuses on developing a comparison methodology to evaluate the quality of the results obtained. Regarding the data collection process, the Artec Eva structured light scanner requires connection to a power outlet and a computer, which must also have the specific software installed because the data capture and import are automatic as the object is being scanned. In contrast, the Faro Focus S150 laser scanner does not need to be connected to any computer because it works with a battery and the data is imported later.

Digital photogrammetry is the technique that required the longest capture time, 16 hours, followed by the terrestrial laser scanner, 4 hours, and, finally, the structured light scanner with 1 hour. The captured data have been processed in the specific programs of each of the scanners. The fastest processing is that of the laser scanner, 30 minutes, because the only actions to be performed are processing and recording. Control and repair actions of the 3D mesh geometry are missing, as presented by the Artec Eva structured light scanner software. With this last scanner, the processing time has been 2 hours. However, the control of the data processing is total, from the

alignment, registration, data removal, gap filling, mesh creation, texture, and so on. For a similar resolution, the processing time in photogrammetry is considerably higher than the other techniques, being 3 full days, 8 hours, and 33 minutes [23].

As we can see in Table 1, the total scanning time (capture + processing) varies considerably between techniques. Photogrammetry takes the most time, practically 94% more time than the laser scanner (6% of time) and 96% more time than the structured light scanner (4% of time).

The noise level in the point cloud is also a factor to consider; if it is not cleaned correctly, it can distort areas or geometric characteristics in some areas of the 3D model [24]. Special attention should be paid to the base of the object or floor where it rests and nooks and crannies typical of the sculpture, such as the inside of the legs or hands [25]. In the case of photogrammetry, the introduction of noise from the surroundings is low because chromas were used for the backgrounds that facilitated the generation of masks for the photographs.

However, the noise of detail on the mesh is very high, probably arising from the gloss or varnish of the polychrome of the sculpture itself. Hence, the software creates the irregularities observed in the model in Figure 9(b). In the case of scanning with structured light, the inclusion of noise from the environment is medium, observed at the base of the object and between the fingers. In the case of scanning with structured light, the inclusion of environmental noise is medium, observed at the base of the object and between the fingers only.

The noise introduced by the laser scanner is high, as it shows points on the floor where the object rests, environmental elements, spheres, and other elements. The elements that do not belong to the model and noise generated must be manually removed via digital photogrammetry and laser scanner [26]. The structured light software Artec Studio 14 has an automatic cleaning process for small objects with a high-quality algorithm and automatic base detection, which simplifies and facilitates the final closing of the mesh.

There are great differences found in comparing the point clouds and models obtained by each of the techniques. First, the largest point cloud is that generated by the Artec Eva structured light scanner, followed by the photogrammetry dense point cloud with almost 50 million points, compared with 1.8 million points in the Faro Focus S150 laser scanner.

Second, the meshes generated from the point clouds of the different techniques again show great differences. The mesh that provides a greater number of polygons is that of the Artec Eva structured light scanner, with 51,163,728 points, although this is reduced to 10 million in order to be able to make comparisons between digital photogrammetry, the structured light scanner, and the real object in the following section. Third, there is the 3D mesh obtained by digital photogrammetry, with almost 9,969,242 polygons. Finally, with great difference again, there is the mesh generated by the Faro Focus S150 laser scanner, with 584,308 polygons. There are also small differences in the volumes enclosed by the meshes, a smaller volume of 0.066 m³ in the mesh of the structured light scanner, probably because it has a tighter geometry. This is followed by the 0.068 m³ of mesh obtained by digital photogrammetry, probably increased by the noise and roughness present on the surface of the same, as can be seen in Figure 10.

The difference between the volumes of the different scanning techniques is 0.003 m³, approximately 3 liters of water, a more than considerable difference. It should be clarified that the resolutions and level of detail of digital models do not depend exclusively on parameters such as the number of polygons; rather, they depend on the size and arrangement of those polygons [27]. There is a clear relationship where the techniques capable of generating a greater number of polygons—and, therefore, smaller polygons—are those in which greater resolution and level of detail are obtained, in addition to better adaptation of these polygons to the geometric shape of the object.

On the other hand, the textures generated by the different scanning techniques also show differences. The texture of digital photogrammetry is 4096 × 4096 pixels, with a resolution of 120 dpi. It presents a highly fragmented surface structure of the object and fills the gaps with a general fading of a shade similar to the color of the larger surface [28]. The texture obtained by the structured light scanner is also 4096 × 4096 pixels, with a lower resolution of 96 dpi. As can be seen in Figure 11, this texture also shows a surface structure of the object.



Fig. 9. Geometric detail of the faces of the 3D models of the different 3D scanning techniques. (a) Structured light scanner. (b) Photogrammetry. (c) Laser scanner.

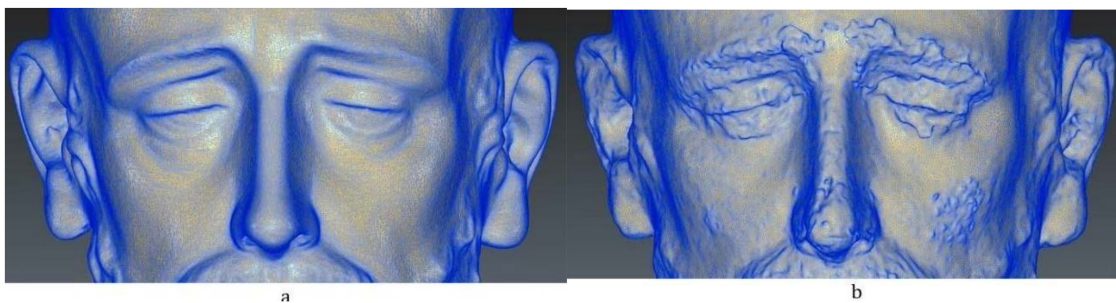


Fig. 10. Theoretical detail of the wire model of the different 3D scanning techniques. (a) Artec Eva structured light scanner. (b) Photogrammetry.

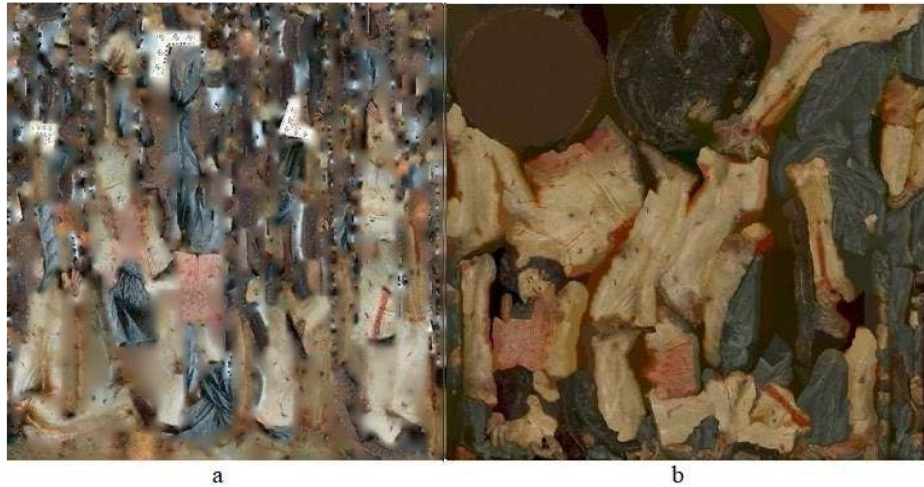


Fig. 11. Texture detail. (a) Digital photogrammetry. (b) Artec Eva structured light scanner.

However, this is less fragmented than that of digital photogrammetry. It also fills the gaps with a general fading of a shade similar to the color of the larger surface. Both textures can be exported in the .jpg or .png format, with the size of the digital photogrammetry being 1.67 MB and the structured light scanner 1.24 MB. The Faro Focus S150 laser scanner does not allow you to export a separate texture for processing a mesh with the maximum possible number of triangles.

The color fidelity to the original object has to be checked, as both techniques show differences in the color tones of the textures. To this end, we decided to check these differences by using a spectrophotometer or Spectro colorimeter. A priori, through the subjective visual inspection, more shadows and brightness are observed in the texture obtained with the digital photogrammetry than in the texture obtained by the structured light scanner because, having a built-in flash, the control of light and color is much more faithful to the original.

To conclude, it can be said that in terms of volume and geometric precision, the Artec Eva structured light scanner and digital photogrammetry are the techniques with the highest precision and resolution, best adapted to the real geometry of the object.

Therefore, we discard the use of terrestrial laser scanner for the digitalization of this type of heritage and we will focus the interest of our comparison on the first two techniques. Specifically, our study will address the degree of quality of scale and color of the textures provided by both in relation to the real object under study, the polychrome wood sculpture of the *Holy Christ of the Blood* by Bussy.

6 QUALITY COMPARISON BASED ON SCALE AND COLOR COMPARISONS BETWEEN THE GENERATED 3D MODELS AND THE REAL CARVING

6.1 Scale Comparisons

To complete the comparative analysis between the techniques of digital photogrammetry and structured light scanning, the scale of both models has been checked. Since digital photogrammetry does not capture the scale of the object, it was necessary to use scale bars to scale the 3D model after processing [26].

As can be seen in Table 2, the method is totally effective in providing the real scale to the photogrammetric 3D model because in the data obtained, there is a difference of only 2 mm, which we could perfectly attribute to human error. Similarly, it can be seen that the scale obtained from the 3D model of the structured light scanner is totally accurate and it is not necessary to scale the object after processing. The comparison of the dimensions

Table 2. Distance Measurements Over Size in Each of the 3D Digital Models and Differences

| Measurement reference | Real object (cm) | Photogrammetry (cm) | | Structured light scanner (cm) | |
|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| | | Measurement | Difference from real | Measurement | Difference from real |
| Horizontal back plate | 8.9 | 9.1 | -0.2 | 8.9 | 0 |
| Foot to finger | 7.7 | 7.8 | -0.1 | 7.7 | 0 |
| Cloth folds | 7.5 | 7.5 | 0 | 7.5 | 0 |
| Arm between cuts | 27.7 | 27.8 | -0.1 | 27.6 | +0.1 |

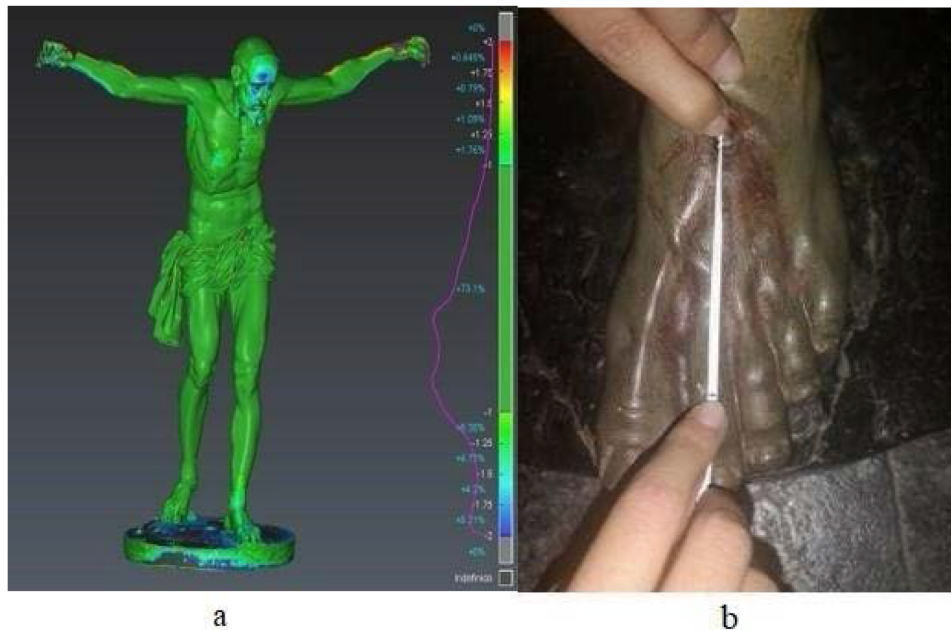


Fig. 12. (a) Error deviation analysis. (b) Taking manual measurements.

has been made by taking the same measurements on the real object and on the 3D models. A more precise method to obtain and check where the scale differences between the 3D models are is the dimensional control analysis by standard deviations [29]. Using the 3dreshaper[®] software, it is possible to carry out a comparison of the photogrammetric 3D model against the structured light 3D model. The deviation parameter of ± 2 mm error, which was the largest distance obtained in the manual metric analysis explained earlier, is entered to check more graphically and visually where these differences are.

As we can see in Figure 12, in red, a difference of +2 mm can be seen in the arms, thus comparing the result obtained through manual measurement. Also, a difference of -2 mm can be seen mainly in the face of the Christ, which is shown in blue. This difference can be attributed to the lack of geometry and resolution in the small details that we have been able to observe in the photogrammetric model, as shown in Figure 10. However, a large part of the model can be seen in green, where the scales of both models are practically exact, being between ± 0 to ± 1 mm in more than 73% of the model; 27% would be between ± 1 to ± 2 mm in error [30].

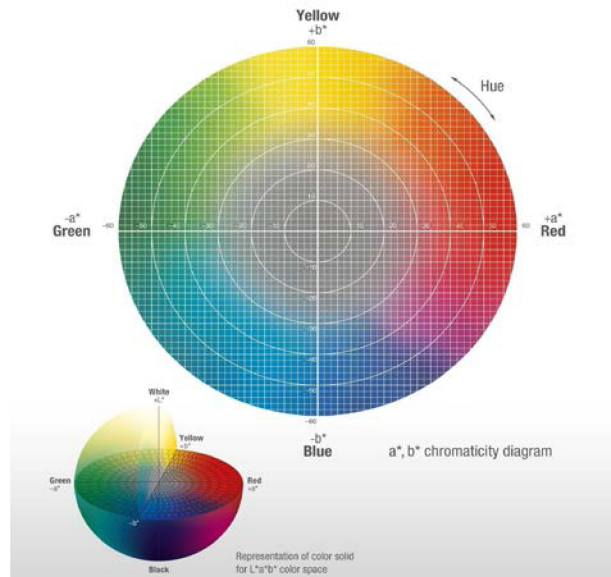


Fig. 13. CIE Lab/Hunter Lab chromaticity diagram (Source: Konica Minolta).

6.2 Verification of the Color Quality of the Textures Generated

The use of objective measurement techniques has been chosen for registration and color comparison. The subjective, more inaccurate, measurements are based on the comparison of visual perception between samples and reference standards. Objective color measurement consists of recording the reflectance of an object in the visual range through the use of equipment such as the colorimeter or spectrophotometer.

The colorimeter emulates human vision by collecting information exclusively in three wavelengths (red, green, and blue) by means of three receptor photocells. The spectrophotometers collect more information in the whole visible spectrum and through algorithms convert it into values equivalent to the perception of the human eye [31]. Furthermore, the use of this equipment ensures reliable color dating because the potential risks of differences between spectra throughout the day, with different light sources and the intervention of different human observers, are avoided.

In our case, the Minolta Conic Spectrophotometer CM-700d with the calibration plate CM-A177 has been used. For the representation of the color samples collected, the Hunter Lab color space has been chosen, which normalizes the CIE Lab values with respect to the characteristics of the illuminant used to capture them. The age of the carving rules out the use of illuminants that represent artificial light sources (e.g., incandescent or fluorescent light), opting for the use of type D65 ($T = 6504K$) which is equivalent to average daylight, including the ultraviolet wavelength region. As can be seen in Figure 13, the dynamic range of variables in the Hunter Lab space is:

$$0 < L < 100, -60 < a < 60 \text{ and } -60 < b < 60.$$

Our methodology initially consists of selecting color reference points along the geometry of the size. A preliminary analysis leads us to consider four shades to be characterized for later comparison: skin, cloth, blood on the side, and beard. However, the geometry of the beard is so abrupt that it is difficult to extract reliable color samples due to the size and planar geometry of the measurement mask of the spectrophotometer used.

Finally, four measurement points are selected on flat surfaces of the size geometry: one on the skin (near the knee of the left leg), one on the cloth, and two in the blood that flows from the side, one next to the sore and one



Fig. 14. (a) Sampling by spectrophotometer. (b) Identification of measurement point on the textures of the 3D models.

next to the cloth. The samples are obtained by means of the spectrophotometer mask with the smallest hole, 3 mm in diameter. Each measurement made consists of obtaining the average of the light captured on this circular surface. The result is the 3 coordinates of the Hunter Lab space, which we call L_r , a_r , and b_r .

The next step consists of locating with great precision the equivalent measurement points on the texture maps of each 3D digital model (.jpg or .png image files). As can be seen in Figure 14(b), software such as Blender allows this location to go from 3D to 2D with great precision. Finally, using image editors such as Photoshop measurements of the color on the texture can be made. The resolution of this image determines the size of the matrix equivalent to the area of measurement on which to make the average color. In our case, as the resolution of each of the textures is 96 and 120 dpi, structured light and photogrammetry, the area of a circle of diameter 3 mm is approximately equivalent to a matrix of 11×11 and 14×14 pixels, respectively.

Therefore, once the point has been located, an average matrix of 11×11 pixels is selected in both textures since, when in Photoshop, these dimensions jump to 31×31 . Finally, the value of the coordinates L , a , and b is extracted.

Once we have the reference L_r , a_r , b_r coordinates in each point and the homologues extracted from each texture image L , a , b , we proceed to the comparison through the calculation of the color difference values:

$$\Delta L = L - L_r \quad \Delta a = a - a_r \quad \Delta b = b - b_r$$

to finally obtain the so-called total color difference

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}.$$

The lower the value of ΔE , the greater the correlation between the texture and the real model and, therefore, the higher the color quality of the model [32]. The polar representation of the Lab coordinates on the

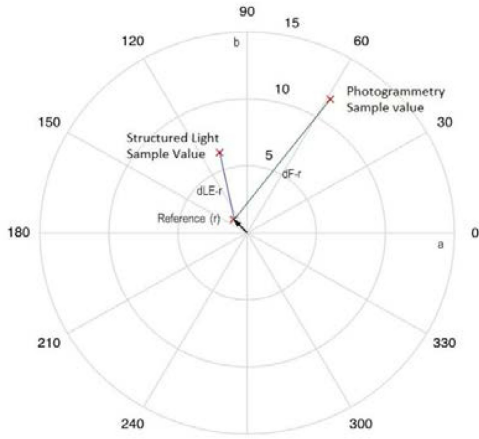


Figure: Polar representation and comparative analysis of color samples in the cloth area

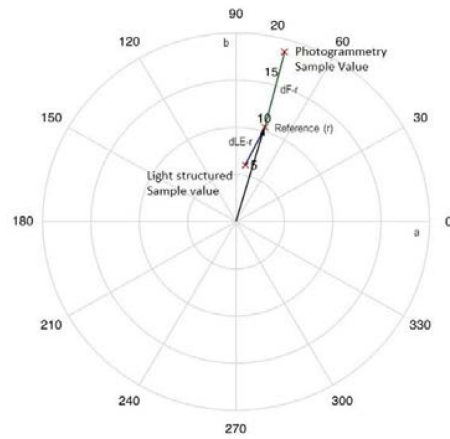


Figure: Polar representation and comparative analysis of color samples in the skin area near the left knee.

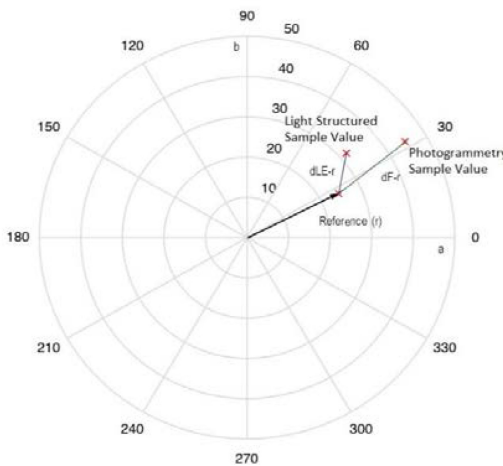


Figure: Polar representation and comparative analysis of color samples in the area of the blood next to the sore

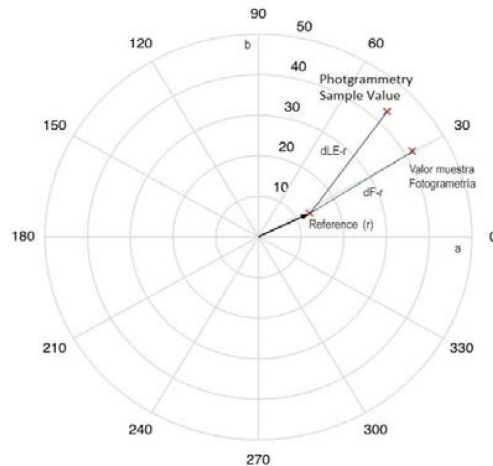


Figure: Polar representation and comparative analysis of color samples in the blood area next to the cloth

Fig. 15. Polar representation of the samples at each location and distance vector plotting between them.

chromaticity diagram gives us a graphic approach to the analysis of the comparison. Each color sample represented corresponds to a point, characterized by its hue:

$$\text{(Hue: } \arctan(b/a)\text{), and chromaticity (C: } \sqrt{(a^2+b^2)}\text{) or saturation (S = C/L)}.$$

The distance between the reference sample and its counterparts in the textures of the digital models obtained by photogrammetry (dF-r) and laser scanning of structured light (dLE-r) is another parameter that helps to determine the degree of correlation between the models and reality, in this case discarding the information on the brightness or luminance of these sensations. Figure 15 shows these calculations graphically on polar representation diagrams.

The results of the comparison calculations are presented in Table 3. It can be seen that the texture of the model generated by structured light has a greater correlation with the real color, measured by the spectrophotometer, in

Table 3. Calculations for Color Comparison between Spectrophotometer Samples and 3D Models

| COLOR SOURCE | MEASUREMENT | ΔL | ΔA | ΔB | ΔE | DISTANCE FROM COLOR REFERENCE (DLE-R/DF-R) |
|------------------|--------------------|------------|------------|------------|--------------|--|
| Structured light | Skin | 2 | 8 | 8 | 11,66 | 11,49 |
| Photogrammetry | | -4 | -12 | -13 | 17,85 | 17,40 |
| Structured light | Cloth | -1 | 5 | 5 | 7,08 | 27,01 |
| Photogrammetry | | -4 | -16 | 5 | 17,33 | 16,87 |
| Structured light | Blood (near cloth) | 18 | 25 | 30 | 42,81 | 38,84 |
| Photogrammetry | | 6 | -10 | -1 | 11,75 | 10,11 |
| Structured light | Blood (near sore) | 2 | 10 | 7 | 12,54 | 12,38 |
| Photogrammetry | | 14 | 3 | 13 | 19,38 | 13,39 |

most of the measurement points, with the exception of the blood sample near the cloth, in which photogrammetry presents better results.

This result is not surprising due to several factors. First, the LED illuminants used by the spectrophotometer and the structure light scanner employed are spectrally similar white lights. In addition, these sources have a highly homogeneous illumination pattern on the samples, which undoubtedly favors the achievement of high-quality textures. In the case of photogrammetry, although the results are satisfactory, a greater deviation can be seen as a result of the heterogeneity of the lighting process. As the whole of the carving has to be covered, the complexity of the process is much greater because different illuminants or light sources are used, to which the handicap of minimizing shadows is added in order to obtain better processing not only of the texture but also of the geometry.

7 RESULTS

The complete review of the main processes and techniques of 3D scanning and the comparative analysis of the 3D models obtained for the carving of the *Holy Christ of the Blood* give the following results of the present research:

- The intensive use and experimentation allow definition of the optimal workflows for the use and execution of each of the different 3D scanning techniques most used in heritage, which could be used as a basic guide for the digitization of heritage objects. The comparison between these represents a first approximation to the identification of the most appropriate technique.
 - A table-type structure is provided for the refined description that facilitates a complete initial comparison between scanning techniques.
- Objective arguments are provided to reinforce the choice of specific 3D scanning techniques over the others, based on the summary tables and results displayed numerically and graphically.
- An unprecedented methodology has been developed for the verification of the quality of 3D models based on the comparison with the real object on the basis of the comparison between scale and texture:
 - The comparison of scales between the 3D models through manual metric measurements on the object with digital measurements of the 3D models.
 - The scientific analysis of the dimensional control of the 3D models obtained by standard deviations for checking the scale, the manual metric measurements taken, and the level of detail of the 3D models.
 - The analysis of textures and color differences obtained by different 3D scanning techniques using spectrophotometers.

- The use of the terrestrial laser scanner is ruled out, and the structured light scanner is identified as the technique with the highest geometric and colorimetric quality results for the digitization of sculptural heritage.

8 CONCLUSIONS

The main conclusions that we have obtained from this research lead us to establish precise workflows for each of the digitization techniques studied, foreseeing both the shape and/or size of the object, the place where it is located, and the time for carrying out the work, as well as the steps and recommendations to be followed in the digitization process, obtained through our experience in this sector.

It has been demonstrated throughout the article that not all 3D scanning techniques have the same precision and accuracy and it is up to the user or digitizer's experience to choose which 3D scanning technique to use. It has also been possible to show numerically and graphically that digital photogrammetry and structured light techniques are the most accurate techniques for documenting heritage. Obtaining the structured light technique provides better geometric detail and resolution in small details than digital photogrammetry.

We can assure that the structured light scanning technique obtains better geometries by obtaining a larger point cloud and the adaptability of its triangles when creating the 3D mesh is much more reliable to the original object than the other techniques. However, it also has its limitations since it is a short-range scanner, which limits the size of the elements to be scanned, not being competitive with other scanning techniques such as digital photogrammetry or the terrestrial laser scanner in the registration of large elements.

We conclude definitively that the structured light technique for the 3D scanning of religious imagery, thanks to the results obtained in this article, is the most appropriate and precise for use in the capture and 3D documentation of the sculptural heritage. It should be considered that if the same study is replicated in other objects or with the use of other devices or scanners, different results may be obtained. A technique that in this study has been considered valid for one type of heritage can be invalid for another and vice versa. Finally, some considerations should be added if the study is carried out again, such as a color checker for the white balance of the photogrammetry images, and a similar study should also be carried out with another terrestrial laser scanner to ensure or totally rule out its use for the replication of a heritage object of these characteristics.

ACKNOWLEDGMENTS

The team would like to thank Marta Rabadán Mínguez, from the Citrus Breeding Department of IMIDA (Murcia) for her collaboration in the development of the spectrophotometer color measurements.

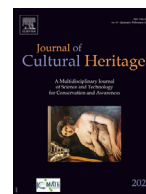
REFERENCES

- [1] Fabio Remondino, Maria Grazia Spera, et al. 2014. State of the art in high density image matching. *Photogram. Record* 29 (2014), 144–166. <https://doi.org/10.1111/phor.12063>
- [2] Mohammad Nabil and Fathi Saleh. 2014. 3D Reconstruction from images for museum artefacts: A comparative study. In *Proceedings of the 2014 International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM)*. Hong Kong, China, 257–260. <https://doi.org/10.1109/VSM2014.7136681>
- [3] V. Evgenikou and Andreas Georgopoulos. 2015. Investigating 3D reconstruction methods for small artifacts. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XL-5/W4, 101–108. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-101-2015>
- [4] Sara Morena, Salvatore Barba, and Antonio Álvaro-Tordesillas. 2019. Shining 3D einscan-pro, application and validation in the field of cultural heritage, from the Chillida-Leku museum to the Archaeological Museum of Sarno. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W18, 135–142. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W18-135-2019>
- [5] David Katz and Martin Friess. 2014. Technical Note: 3D from standard digital photography of human crania—a preliminary assessment. *American Journal of Physical Anthropology* 154, (2014), 152–158. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.22468>
- [6] Allowen Evin et al. 2016. The use of close-range photogrammetry in zooarchaeology: Creating accurate 3D models of wolf crania to study dog domestication. *Journal of Archaeological Science: Reports* 9, 87–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.06.028>

- [7] Valentina Alena Girelli et al. 2020. 3D digitisation in cultural heritage knowledge and preservation: the case of the neptune statue in bologna and its archetype. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Volume XLIII-B2-2020, 2020 XXIV ISPRS Congress. 1403–1408. DOI : <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1403-2020>
- [8] Ana María Buchón. 2000. Escultores extranjeros maestros del gremio de carpinteros de Valencia: Nicolás de Bussy, Julio Capuz y Francisco Stolf. *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura* 76, (1–4) (2000), 161–168.
- [9] María José López Azorín and María del Carmen Sánchez-Rojas. 2004. Notas para una biografía del escultor D. Nicolás de Bussy. *Boletín del Museo Nacional de ESCULTURA* 8 (2004), 29–36.
- [10] María del Carmen Sánchez-Rojas. 2005. *Nuevas Aportaciones al Estudio del Escultor Barroco Nicolás de Bussy*. Murcia: Archicofradía de la Preciosísima Sangre de Nuestro Señor Jesucristo.
- [11] Roberto Alonso Moral. 2006. Nicolás de Bussy, escultor del rey. Su etapa en el Palacio de Aranjuez. In *Nicolás de Bussy: un Escultor Europeo en España. Tercer Centenario de su Muerte (1706–2006)*. Montojo, V. (Ed.), Murcia: Real Academia de Bellas Artes de la Arrixaca. 33–53.
- [12] José Iniesta Magán. 2006. *Nicolás de Bussy y la archicofradía del rosario. Las Claves de un Pleito*. Murcia: Academia Alfonso X el Sabio.
- [13] Javier Bernal Casanova and Francisco López Soldevilla. 2004. Cristo de la Sangre Nicolás de Bussy. *La Imagen Restaurada*. Murcia: Ayuntamiento de Murcia.
- [14] Juan Antonio Fernández Labaña. 2017. San Francisco de Borja, una obra de Nicolás Salzillo. In *Estudios de Escultura en Europa*. A. Cañestro Donoso (Ed.), Alicante: Instituto de Cultura Juan Gil-Albert. 639–674.
- [15] Inmaculada Alcántara. 2010. El Cristo de la Sangre, de Nicolás de Bussy. Iconografía e historia. In *Vid salvífica. Calasparra: Antigua y Venerable Cofradía de la Sangre de Cristo y la Vera Cruz de Calasparra*. J. J. Moya y Martínez (Ed.), 181–199.
- [16] Francisco López Soldevilla and Javier Bernal Casanova. 2008. Cristo de la Sangre. In *Catálogo de Obras Restauradas: 1998 a 2007*. F. López Soldevilla (Ed.), Murcia: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. 68–74.
- [17] Kaja Antlej, Miran Eric, Mojca Savnik, and Bernarda Zupanek. 2011. Combining 3D technologies in the field of cultural heritage: Three case studies. In *Proceedings of the Conference VAST: 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage—Short and Project Papers*. The Eurographics Association, 1–4.
- [18] Gabriele Guidi, Sara Gonizzi Barsanti, and Laura Loredana Micoli. 2014. Image pre-processing for optimizing automated photogrammetry performances. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II (5)*. In *ISPRS Technical Commission V Symposium, 23–25 June 2014, Riva del Garda, Italy*. Copernicus Publications, 145–152.
- [19] Rafael Melendreras Ruiz, María Teresa Marín Torres, and Paloma Sánchez Allegue. 2020. Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la sangre y su ángel. *E-rph*. 27 (2020), 52–83. <https://revistadepatrimonio.es/index.php/erph/article/view/424>.
- [20] Concepción de la Peña, Josefina García-León, and Paloma Sánchez-Allegue. 2017. Documentación, conservación y difusión de un retablo a través de la Geomática: El retablo barroco de la Iglesia de San Miguel en Murcia. *E-rph* 21 (2017), 67–90. <https://revistadepatrimonio.es/index.php/erph/article/view/239/263>.
- [21] Carlos León Robles, Juan Francisco Reinoso Gordo, and Jesús Mataix Sanjuán. 2018. Luz estructurada en la reconstrucción digital de detalles arquitectónicos. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica* 23, 32 (2018), 198–207. <https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/9810>.
- [22] Marek Milosz, Jacek Kęsik, and Jerzy Montusiewicz. 2020. 3D scanning and visualization of large monuments of Timurid architecture in central Asia—a methodical approach. *Journal on Computing and Cultural Heritage* 14, 1 (2020), 8. <http://dx.doi.org/10.1145/3425796>
- [23] Pedro Ortiz Coder and Beatriz del Pino Espinosa. 2013. Digitalización 3D automática con láser escáner, fotogrametría y videogrametría. El caso práctico del Templo de Diana (Mérida). *Virtual Archaeology Review* 4, 8 (2013), 90–94. <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4325>.
- [24] Salsabil Ahmed, Raisa Islam, Sadman Shawmik Himalay, and Jia Uddin. 2019. Preserving heritage sites using 3D modeling and virtual reality technology. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Cryptography, Security and Privacy, Kuala Lumpur, Malaysia (ICOSP'19)*. ACM Press, 267–272. <http://dx.doi.org/10.1145/3309074.3309116>
- [25] Josefina García-León and Paloma Sánchez-Allegue, Concepción de la Peña-Velasco, Luca Cipriani, and Filippo Fantini. 2018. Interactive dissemination of the 3D model of a baroque altarpiece: A pipeline from digital survey to game engines. *SCIRES-IT* 8, 2 (2018), 59–76. <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v8n2p59>
- [26] Pablo Rodríguez Navarro. 2012. La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. *EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica* 17, 20 (2012), 100–111. <http://dx.doi.org/10.4995/ega.2012.1408>
- [27] Elvira Isora García Vacas. 2018. Análisis comparativo de diferentes sistemas de digitalización tridimensional aplicados al patrimonio escultórico. *Grado en Conservación y Restauración de Repositorio Institucional de la Universidad de la Laguna*. 44–53. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/12132>.
- [28] Luca Cipriani, Filippo Fantini, and Silvia Bertacchi. 2015. El color en las piedras y en los mosaicos de Rávena: Nuevas imágenes de los monumentos antiguos a través de la fotogrametría no convencional de última generación. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica* 26 (2015), 190–201. <https://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/4052>.

- [29] Borja Molero Alonso, Salvatore Barba, and Antonio Álvaro Tordesillas. 2016. Documentación del patrimonio cultural. *Método Basado en la Fusión de Técnicas Fotogramétricas y de Escaneado Óptico de Triangulación*. EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica 21, 28 (2016), 236–245. <http://dx.doi.org/10.4995/ega.2016.6308>
- [30] Marco Giana, Fabrizio Apollonio, and Filippo Fantini. 2019. Evaluating smartphones color fidelity and metric accuracy for the 3D documentation of small artifact. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W11. GEORES 2019—2nd International Conference of Geomatics and Restoration. Milan. 8–10. ISPRS and ICOMOS-CIPA Heritage Documentation. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-539--2019>
- [31] Bárbara Tobijaszevska, Richard Mills, and Jakob Jons. 2018. El uso de la espectrometría para la medición simultánea del color y la composición en muestras de alimentos. *Analytics Beyond Measure*. Foss.es.
- [32] Francisco Javier Manera Bassa. 2004. *Evolución Del Color Externo e Interno en Diferentes Variedades de Pomelo y Limonero*. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández.

Received January 2021; revised May 2021; accepted June 2021



Original article

The sculpture of the Christ of the blood: Structural mechanical analysis based on 3D models and video techniques for the study of recurrent pathologies

Rafael Melendreras Ruíz^a, María Teresa Marín Torres^b, Paloma Sánchez Allegue^{c,*}, Jorge Martínez Reyes^d

^a Universidad Católica San Antonio de Murcia, 30107, Spain

^b Universidad de Murcia, 30001, Spain

^c Universidad Católica San Antonio de Murcia, 30107, Spain

^d Archicofradía de la Preciosísima Sangre, 30002, Murcia, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 May 2021

Accepted 3 January 2022

Keywords:

3D digitizing

Video measurement technique

Computerized simulation

Structural mechanical analysis

Religious heritage

ABSTRACT

The Christ of the Blood is an emblematic work of Spanish baroque sculpture. A sculptural heritage from the 17th century, unique for its symbolism and turbulent history. It was badly damaged during the Spanish Civil War and was divided into thirty fragments, which were recomposed by important local sculptors of the time through complex interventions. As is tradition, after the war, the sculpture has continued to be paraded in a procession every year on the occasion of Holy Week. The movements derived from this parade affect the integrity of the sculpture, although in a particular and critical way on the right foot, which requires recurrent interventions from the 1940s to the present day. There is a dilemma between tradition and preservation, between devotion and integrity. The studies and tests carried out so far are limited to the evaluation of the state of the structure, the materials and the application of new conservation treatments, but they do not contribute decisively to the prevention of its degradation. The research presented here aims to develop a dynamic structural study of the forces and stresses to which the sculpture is subjected during its annual parade. To do this, computer simulation by finite elements is chosen, which requires a three-dimensional model which is available as a result of previous research. At the same time, advanced video measurement techniques are used to obtain initial data for the simulation process, such as maximum acceleration. Finally, possible solutions are provided that allow the repair, prevention and conservation of this invaluable heritage asset, as well as a technical assessment and economic investment of the application of each of them.

© 2022 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

1. Introduction

The Christ of the Blood is an emblematic work of Spanish baroque sculpture. It belongs to the Archconfraternity of the Precious Blood of Murcia and was made by the sculptor from Strasbourg Nicolás de Bussy (h. 1640-1706) in 1693. It is taken out in procession every Easter Wednesday afternoon, being a Passion work of great devotion and esteem in the Murcian Holy Week. It is an unicum, especially in its iconography, showing Christ carrying the cross while he steps on the mystical winepress, formed by the blood that flows from his wound and that collects a depressed little angel, a medieval representation carried to the sculpture in

three dimensions, in polychrome cypress wood. In it he combines the exaltation of the Passion of Christ as well as the Eucharistic sacrament, counter-reformist values in which the sculptor delves with deep dramatism into the theatrical aesthetics of the Baroque. The Christ, when he parades in the procession, gives the impression that he is walking while carrying on his shoulders the cross, which symbolizes the burden of the sins of the world [1–5].

Unfortunately, it was a work that was quite badly treated during the Spanish Civil War, practically destroyed, but reconstructed thanks to two sculptors, Juan González Moreno (1908-1996) and José Sánchez Lozano (1904-1995). It has subsequently undergone two important restorations, one in 1991, in the workshops of the Museum of Fine Arts of Murcia, and between 2003 and 2004 in the Restoration Centre of the Region of Murcia.

The sculpture has a deep structural problem, especially in its right leg, where it receives loads that make it an area of special

* Corresponding author

E-mail addresses: rmelendreras@ucam.edu (R. Melendreras Ruíz), mtmarin@um.es (M.T. Marín Torres), psallegue@gmail.com (P. Sánchez Allegue).

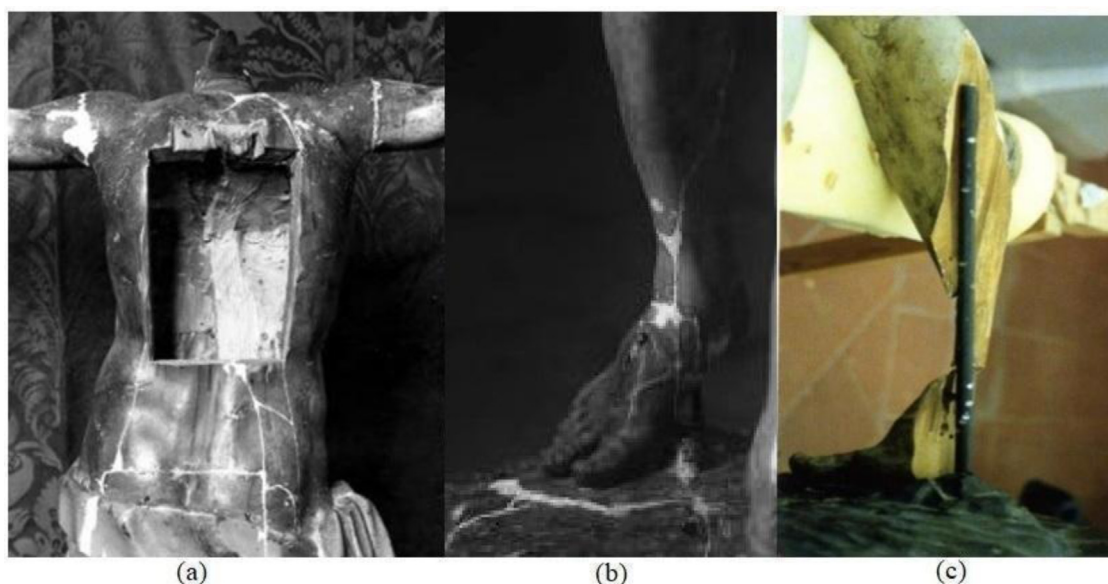


Fig. 1. (a) Box-shaped cavity in the area of the back. Source: [8](b) Bottom rear image of the 1991 restoration. Source: Archivo Regional Región de Murcia-ES.30030.AGRM/341-FOT_NEG,046/02. https://archivogeneral.carm.es/archivoGeneral/arg.muestra_detalle?idkses=0&pref_id=463777. (c) Placement of a rod in the right leg in 1991. Source: [8]

fragility. In addition, it was one of the most fractured areas in the destruction it suffered during the Civil War. The interventions carried out there have taken special care in this sector. Its deterioration always causes great concern to stewards, brothers and faithful men, hence the need to study possible solutions to stop the constant wear that can lead to a situation of irreversibility and loss.

The destruction of works of art during the Spanish Civil War (1936–1939) took place in a climate of iconoclastic and anticlerical exaltation. Much of the historical-artistic heritage disappeared forever, although after the war restitution and recovery work was carried out, as occurred with the Christ of the Blood. The sculpture, mutilated, was scattered in thirty parts, collected by the sculptor Clemente Cantos. His head had been torn off and burned, he suffered multiple fractures and large cracks opened up, especially in his chest and the one that tore part of the twin and ankle from his right leg, his feet were burned and there was a great loss of support [6]. Juan González Moreno assembled the sculpture at the Museo Provincial de Murcia in September 1936 (Fig. 1.b). Inside the box-shaped cavity in the area of the back, (Fig. 1.a) where the cross was to be anchored, the sculptor found the famous handwritten card written by Bussy, where he expressed his deep religious beliefs and mystical feelings when making his work. This box also has its importance from the structural point of view. At the time, this emptying of the sculptures was a common procedure to reduce weight and improve stability by allowing the vertical axis of the center of masses to be adjusted to the exact center of the base. The burnt head of Christ was recovered years later, in 1940, as a woman bought it from some children who played football with it, and with the help of a friend they hid it during the contest. At Christmas 1940, the sculptor Sánchez Lozano restored the entire sculpture, giving it back its original appearance.

The foot area was always problematic. González Moreno recomposed it and stuccoed it, prior to Sánchez Lozano's intervention, but it is known that in 1946 the latter was consulted about placing a supplement for the foot, which must have given stability problems. Years later, around 1958 and 1959, Juan González Moreno would intervene in this area, as María Dolores Piñera has shown [7]. In the files of the brotherhood there is no allusion to such an action, but a photograph of this date, in which the Virgin Mary of the Marraja Brotherhood of Cartagena appears in the foreground,

can be seen in the background of the workshop, the Christ of the Blood with his head covered and some intervention on his right leg. Therefore, although not documented in the files, the sculptor from Aljucer must have restored the piece.

Already in the intervention of 1991 in the workshops of the Museum of Fine Arts of Murcia, the crack of the leg had to be fixed, which was still giving problems, and work was done to give stability to the image. To do this, a stainless-steel rod was included to serve as a counterpoint and absorb the vibrations and movements of the wood in the procession (Fig. 1.c) [8].

In the 2003–2004 restoration, it was well documented how the sculpture had been made by Nicolas de Bussy and what the restorers' interventions had been. Juan González Moreno limited himself to assembling the fragments and stuccoing the joints and cracks, as can be seen in the 1936 photo (Fig. 1.a). Sánchez Lozano restored the entire work, intervening especially in the burnt head and in the anchoring system of the cross on the back, after closing the box. At this time, it was noted that the metal rod was in good condition and had not caused any deterioration in the wood.

2. Research aim

The main object of the research that concerns us is the analysis of the degree of affectation of the sculpture of the Christ of the Blood while it is carried by men on his throne during the procession. Recent research has proven the suitability, especially in sculptures with complex fracture plans and localized cracks, of methodologies based on mechanical diagnosis from 3D models [9]. In our particular case, in order to carry out this work, computer simulation is used to show graphically and numerically by means of a dynamic-structural analysis, the areas of greatest tension and deformation of the sculpture, seeking to explain the origin of the cracks that usually appear in the foot and to propose solutions that allow the conservation of this heritage.

3. Materials and methods: 3D digitizing and video analysis techniques

In addition to a detailed preliminary theoretical study, for the application of this complex technique as input data, a three-

dimensional digital model of the sculpture is required, as well as the physical parameters that describe the forces to which the sculpture is subjected as a result of the movement. Below, the digitizing processes carried out to obtain the 3D model are described, as well as the characterization of the movement from the video measurement technique.

3.1. Digitizing

In recent years, 3D scanning techniques have become an indispensable tool for the analysis, documentation, conservation and prevention of heritage. These models have become the "archive" most demanded today by historians, conservators, restorers, mathematicians, etc., since they allow the possibility of carrying out numerous studies, analyses and research with them, which by other means would be very costly and laborious to carry out.

The 3D digitization of this sculpture by means of the main techniques of digitalization of the heritage, such as photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured-light scanner, were essential for the total understanding of this heritage property and, above all, for the realization of the present analysis, creating the possibility of improving the prevention and conservation of the studied sculpture.

The first studies carried out on this sculpture began by using the 3D digital photogrammetry technique. The workflow of the use of this technique and the conclusions obtained have been published in the Spanish journal *E-rph* [10]. As can be seen in the aforementioned article, a model of great geometric quality and real texture was obtained, which was the basis for establishing a line of research on the main 3D scanning techniques for heritage.

Continuing with this line of research, this sculpture was subjected to the study of the 3D scanning techniques of the terrestrial laser scanner and the structured-light scanner. This second part of the research is pending publication [11], where the workflows of the use of these techniques and some recommendations about their use can be found.

The comparison between the three 3D models obtained has been explained in depth in the articles [10] and [11], from a quantitative and qualitative point of view, paying attention to both the potential and the main problems of each of the three techniques.

The performance and study of these three 3D scanning techniques made it possible to carry out a comparative analysis, both graphically and numerically, of all of them, obtaining relevant results. These investigations concluded that the technique of structured-light scanning is the technique that provides the best geometric and resolution details in the smallest details of the sculpture such as eyes, eyebrows, mouth, hands, feet, etc., (Fig. 2) which digital photogrammetry does not manage to obtain. However, digital photogrammetry was also considered a valid technique for the digitisation of heritage, as a 3D model of fairly good resolution and proportions was obtained which is very similar to that obtained with the structured-light technique, although the use of photogrammetry was recommended, provided that the object to be digitised does not present too many small details or the 3D model obtained is going to be decimated or reduced in polygons later, to be used in 3D printing, digital web platforms, virtual reality applications, calculation software, etc.

3.2. Video measurement technique

3.2.1. Preliminary analysis

A starting point is that we don't have objective data on the magnitude of the forces acting over the sculpture of the Christ, as a consequence of its movement along the procession. This issue is usually solved through physical measurement devices on the object, such as encoders, sensors, etc. A pretty alternative solution is

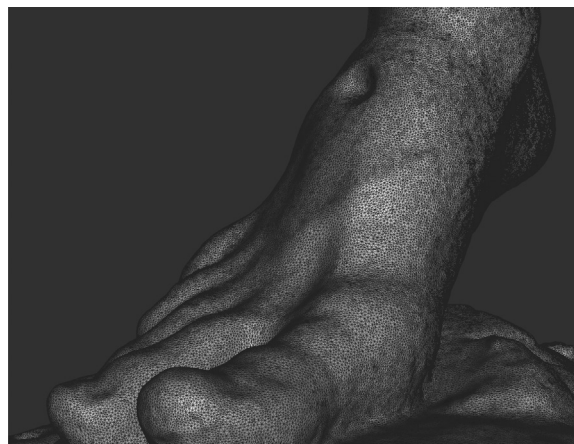


Fig. 2. 3D mesh detail of the structured-light model

the use of video measurement techniques [12]. We will use it to obtain an approximation of these parameters as input information for the process of computerized mechanical simulation.

The interest of our measurement is focused exclusively on the video sequences where the maximum accelerations to which the sculpture is subjected are recorded along the almost three kilometres of distance and five hours of duration of the procession.

A first analysis shows that these do not appear while the throne is advancing or standing, but in the transitory states of its ascent to the shoulder and standing on the wooden stick, because the difference in height between the two must be bridged at each stop and start. To this must be added the practical impossibility of the manoeuvre being carried out in a synchronised manner, to which the accumulated fatigue contributes, which, in addition to diminishing reflexes, causes the average height of the throne to drop during the advance. As a result of this dynamic difference, non-zero resultant forces appear and, therefore, accelerations that affect the whole. The conclusion is that the most abrupt accelerations take place in the final phase of the procession and in the transitory state of stopping the throne on the rack.

Among the multiple video fragments available, one is chosen corresponding to the beginning of the last quarter of the procession, in a critical situation as it is the exit of a 90° curve, and that can be visualized in the following link <https://youtu.be/wXr132woGVQ> (last access date: 16/04/2020). The file is in .mpeg4 format, with a resolution of 640 × 304 pixels and a frame rate of 30,079.

3.2.2. Technique used

Based on the chosen sequence, the procedure to follow consists of detecting the interval of frames in which the maximum angular displacement of the sculpture is registered after the throne is resting on the shelves when stopping. This operation is carried out visually frame by frame using QuickTime®. The interval finally chosen for the measurement is composed of 5 frames with a total duration of 132,983 ms and includes full lateral displacement from the equilibrium position. The decomposition of the video sequence to .jpeg format frames is carried out using Adobe Premiere®.

Due to the reduced quality of the video and its tripodless capture, the measurement of the angular displacement of the sculpture has to be done through a combined system. First, for each of the images in the interval frames, the pixel that contains the nail of the left hand of the Christ is accurately located using Adobe Photoshop®. Next, a line is drawn between this pixel and a second reference pixel located on the base of the sculpture itself, which is in turn anchored to the throne (Fig. 3.a). For the exact measurement of the angle of each line, the Hough transform is used (Fig. 3

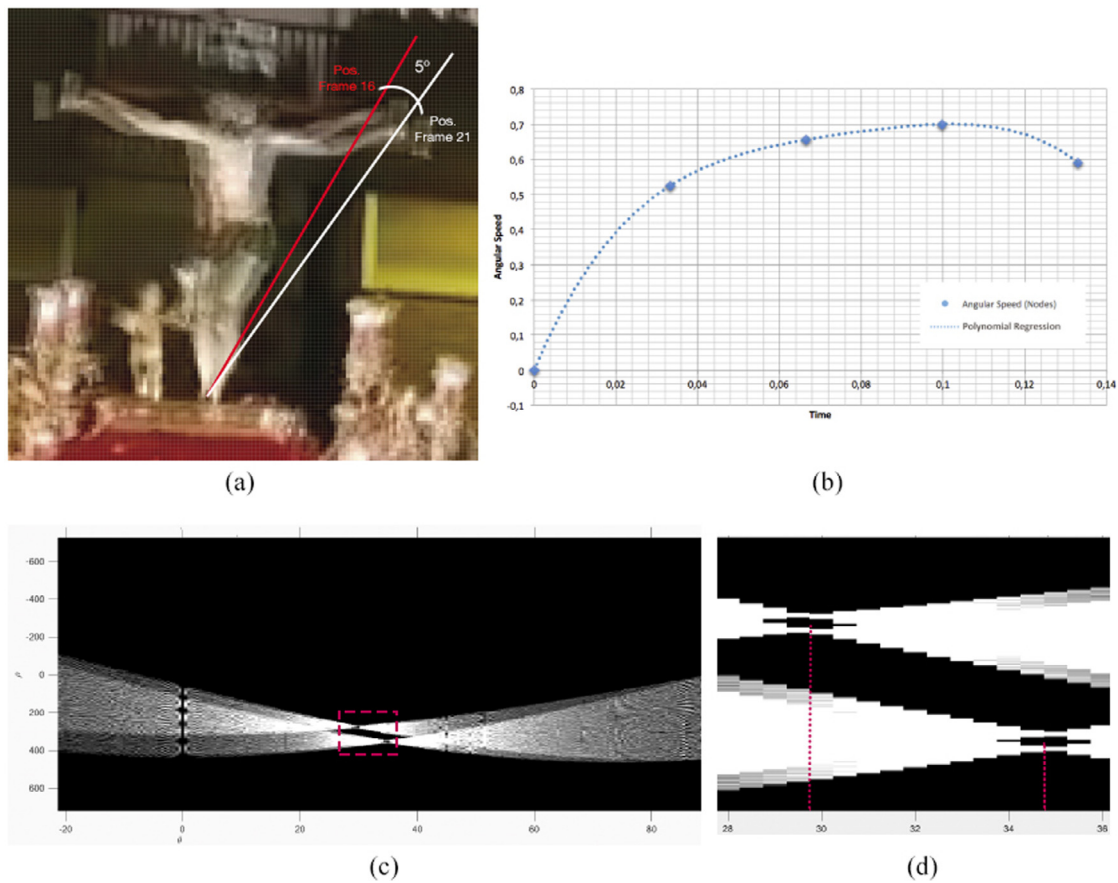


Fig. 3. Video measurement technique: (a) Superimposed captures showing the maximum angle of deviation of the sculpture (b) Graphic of the polynomial regression of the mean angular velocity (c) Hough transform applied to lines in figure a (d) Detailed measurement of the angles through Hough transform.

c, d). The angle increments measured in each frame in relation to the time elapsed since the beginning of the interval allow the calculation of the average angular velocity function in each instant of time of the interval, being its graphic representation the one shown in Fig. 3 b.

The maximum acceleration is obtained at the starting instant of the movement and for its calculation it is necessary to evaluate the function derived from the angular velocity. For this reason, it is necessary to perform the polynomial regression on the angular velocity nodes to obtain their polynomial with maximum precision (Determination factor, $R^2=1,0$) which results in Eq. (1).

$$f(t) = -12.682,964t^4 + 3.918,912t^3 - 470,848t^2 + 27,579t \tag{1}$$

Its first derivative in $t=0$ gives us the maximum slope in the maximum turning interval, i. e. the maximum angular acceleration whose value is $27,579 \text{ rad/s}^2$. Excel ® and Matlab ® are used for these calculations, the latter also for calculating the Hough transform. This maximum angular acceleration will be used to calculate the maximum inertia force in subsequent mechanical analysis.

4. Calculation: dynamic-structural analysis

Engineering strength analysis is performed on elements with regular geometry, which allows the use of certain mathematical or graphical procedures, in the worst case. The sculpture of the Christ of the Blood is a solid with very irregular shapes and sections, the same as in the forms of human beings. Therefore, although a rigorous scientific basis is always maintained, the conclusions will be of a qualitative nature and within a practical environment.

4.1. Previous considerations

In order to carry out this analysis, the following simplifications are considered in the study:

- Each stop and restart process has different and unpredictable conditions, so the most general dynamic case is analysed.
- Due to the impossibility of characterising the inertial force as a cyclical fatigue force, a static structural simulation is carried out. The graphic information of stress state and unitary deformations obtained allows to locate the critical points of the structure, being representative of the dynamic or fatigue loading state.

4.2. Analytical basis

The difference in time of forces made by the Nazarenes at the moment of stopping the throne or resuming the march, cause a torque on the throne and the sculpture as a whole. This torque causes, according to the law of dynamics that defines the turning movement Eq. (2), an angular acceleration on the solid.

$$M_R = I_G \alpha \tag{2}$$

Where M_R represents the moment of force on the centre of masses G of the assembly, α represents the angular or rotational acceleration and I_G is the moment of inertia, which accounts for the mass distribution of the solid with respect to the axis passing through G . It can be seen that the higher the moment of inertia, the lower the angular acceleration of the assembly.

Fig. 4.a schematically shows the rigid solid formed by the throne and the sculpture of Christ. The centres of mass of the

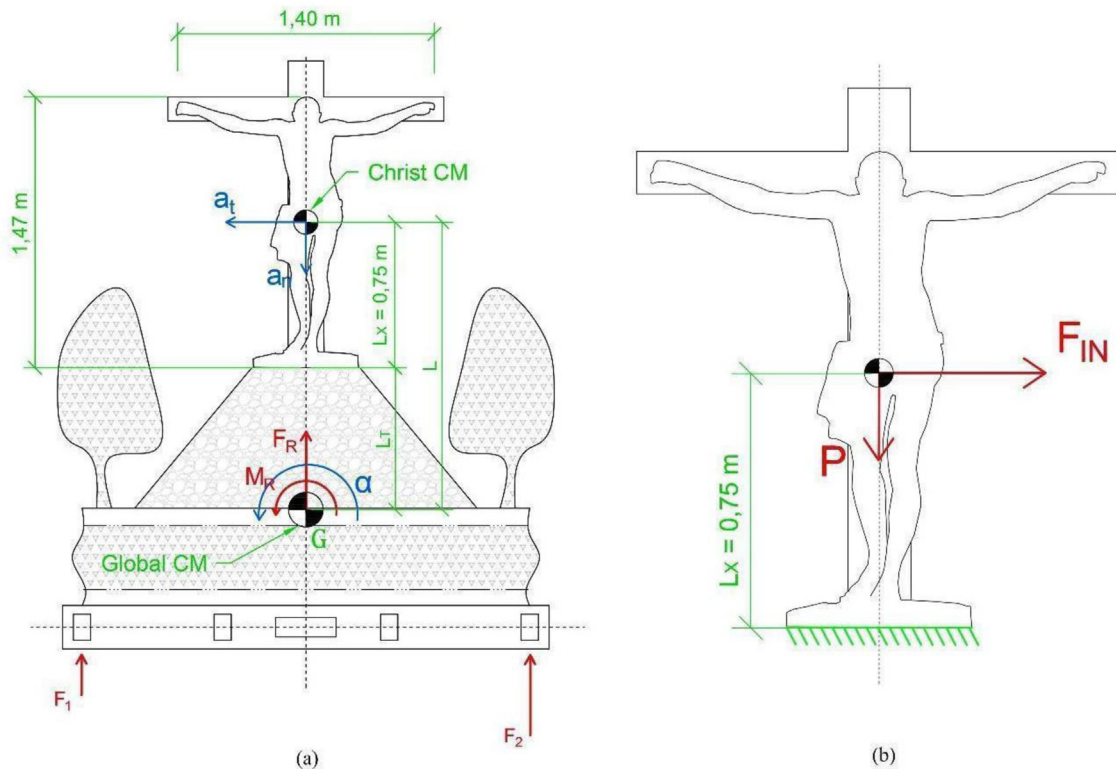


Fig. 4. Technical diagrams. (a) Overall set under study and (b) Scheme of forces on the sculpture.

whole and of the sculpture are shown, as well as the forces, moments and accelerations that act on them. The assembly rotates on the longitudinal axis of the throne, since the moment of inertia is less than that of the transversal axis.

The center of masses of the Christ, since it is separated from the point of rotation, suffers tangential and normal accelerations to the trajectory Eqs. (3) and (4) [13]. Both components of the acceleration are directly proportional to the distance L.

$$a_t = \alpha L \tag{3}$$

$$a_n = \omega^2 L \tag{4}$$

By Newton’s law of dynamics, sculpture suffers inertial and centrifugal forces. Both forces are applied on the centre of masses of the sculpture and have the opposite sense to the accelerations that cause them [14]. Their modulus are expressed according to the Eqs. (5) and (6). The load state of the sculpture is shown in Fig. 4.b., where the weight force (P) is included and the centrifugal force is obviated. According to Fig. 3.b, the maximum angular acceleration is given at the initial instant, the angular velocity being zero. Therefore, normal acceleration and centrifugal force are also nullified Eq. (6).

$$F_{in} = ma_t \tag{5}$$

$$F_c = ma_n \tag{6}$$

In the video analysis, it is observed that the sculpture violates the rigid solid hypothesis when it begins to have relative displacement with respect to the throne. For this reason, once what has happened in the complete system has been explained, the sculpture is studied individually (Fig. 4.b). As can be seen in the video used in the section 3.2. Video Measurement Technique, the throne induces angular acceleration instantly and remains fixed from that moment on. The angular acceleration with respect to the base of the sculpture, obtained in this section, is used to estimate the

forces suffered by the sculpture. This load state could be studied as seismic ones [15, 16]. A similar remarkable study is the analysis of the cracks in the ankles of Michelangelo’s David [17]. In that case, cracks are due to the excessive mass of the sculpture and the eccentricity of its centre of mass.

As a conclusion to this analytical section, it is worth noting the following: the inertial force is directly proportional to the mass of the Christ, to its lever length (which in turn depends on the height of the base and the height of its centre of mass) and to the torque generated by people, and inversely proportional to the moment of inertia of the whole.

4.3. Computerized mechanical analysis

4.3.1. Type of load: fatigue

The design of mechanical elements in engineering considers, mainly, two types of failure: by resistance or by fatigue. In the failure by resistance, the breakage is given when in a point the maximum stress of the material is exceeded. In our case study, we have a fatigue load. The inertia force is not static but cyclical, and it acts on a slightly damped system. Fig. 5 shows in qualitatively way the representation of the deviation that the Christ of the Blood suffers in each process of stopping or starting, as a function of time. At the beginning of the function, it is the maximum peak, which corresponds to the maximum deviation in the process, and then the curve is attenuated until it reaches rest again.

In a situation of mechanical fatigue, the alternation of tensile and compressive stresses begins by causing a microcrack in the material, which with the repetition of numerous cycles propagates and extends. In fatigue, therefore, it is possible to reach structural collapse without reaching the maximum stress of the material [18].

4.3.2. Mechanical characteristics of the Christ of the Blood

Using the digital 3D model of the sculpture of structured-light technique, the position of the centre of masses is obtained, as

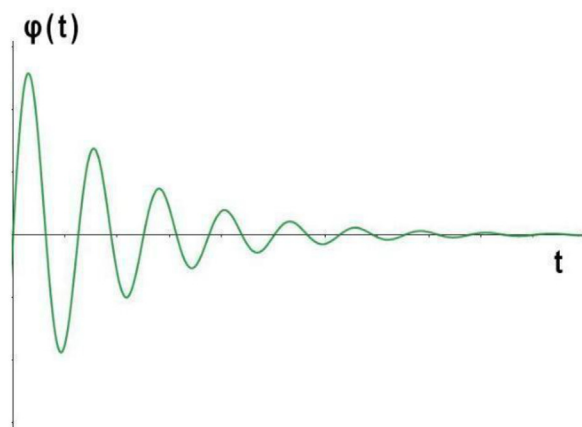


Fig. 5. Qualitative displacement of sculpture as a function of time

Table 1
Mechanical properties of the sculpture and Cupressus Sempervirens L.

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Height foot-head | 1.40 m |
| Height base-foot | 0.07 m |
| Wingspan | 1.40 m |
| Total volume (with cross) | 79,499.48 cm ³ |
| Total mass (with cross) | 43.72 kg |
| Density | 550 kg/m ³ |
| Young modulus | 8,050 MPa |
| Poisson's ratio | 0.4 |
| Elastic limit | 101 MPa |
| Tensile strength | 63 MPa |

well as other relevant properties. In order to obtain the mechanical properties, the cross and the hollow in the ribcage are taken into account (Fig. 4.a). In Fig. 6 a and b, the position of the centre of mass is shown, both in plan and side view.

In accordance with the type of wood used by the sculptor Nicolas de Bussy, the mechanical properties of the wood of Cupressus Sempervirens L. (Mediterranean Cypress) are chosen [19]. Wood is an anisotropic and heterogeneous material, so its properties may vary depending on the arrangement of the fibres and on each particular variety. The age of the sculpture and its interventions make the mechanical characterisation of the wood practically impossible. In the mechanical software some generic properties are introduced according to bibliography [20, 21]. In Table 1 the dimensional and wood properties of the sculpture are summarized.

4.3.3. Preparation of the model

Once the load state has been characterized, the simulation of the model is carried out using 3D CAD mechanical software. The SolidWorks® package, together with the Simulation complement, allows us, given a solid, to establish some boundary conditions and apply forces on it. The software creates a mesh and calculates by finite methods the unit stresses and deformations suffered by the fibres.

Due to the computational load, the mechanical simulation software only supports low resolution 3D models, so the differences between the geometry of the 3D models obtained by photogrammetry or scanning are irrelevant. The model obtained by photogrammetry is used, whose resolution is drastically reduced to 4 thousand vertices, compared to its original resolution of 10 million vertices. Once the solid is imported into the software, the following structural adaptations are made:

- The lower surface of the base is flattened, in order to facilitate the introduction of the clamping edge condition.

Table 2
Simulation conditions.

| Element | Point of application | Value |
|---------------------|-------------------------|------------------|
| Fixed mounting | Bottom side of the base | Total limitation |
| Weight force | Upper cylinder | 429 N |
| Inertia force | Side cylinder | 868 N |
| Total mesh nodes | - | 160,621 |
| Total mesh elements | - | 107,149 |

- According to the force scheme in Fig. 4 b, this is a structure model with cantilever load. Therefore, there will only be mechanical stress from the point of force application to the clamping, i.e., from the centre of mass to the base. The rest can therefore be eliminated.
- A rectangular prism is added to the height of the centre of masses by joining the two legs. With this it is possible to add a condition of equal displacement in the head of both legs, which happens in the real model with the waist of the Christ. In addition, in order to achieve an effective application of the two forces, two cylindrical extrusions are added at the exact location of the centre of masses, according to Fig. 7.

4.3.4. Structural simulation

The material features defined in Table 1 are applied to the solid. A clamping condition is established on the lower face of the model base, completely limiting the 6 degrees of freedom of the solid: the displacements and the turns in the three axes of the space. Finally, the weight and inertia forces are added at the respective points of application. The weight force is applied in a downward vertical direction, while the inertia force is applied in a horizontal direction, considering the most unfavourable case. As for the amount of them, the weight force is calculated with the mass and acceleration of gravity, and the inertia force is calculated with the angular acceleration with respect to the base (obtained in the Video Measurement Technique section), the height of the centre of mass and the mass of the stature. In Table 2 the conditions of the simulation are summarized while in Fig. 7 the simulation model is shown with the conditions applied.

5. Results

Figs. 8 and 9 are the graphic solutions regarding the equivalent unit deformation of the material. The blue colour reveals zero deformation, while the warmer zones indicate those of maximum deformation.

In the left foot the critical zone is in the ankle joint, on both the external and internal side (Fig. 8, zones 1 and 2). Maximum stress in zone 2 is 11 MPa (safety factor = 9.2). On the right foot there is a critical zone under the sole (Fig. 8, zone 3): this point coincides with a concentration of stress due to the introduction of the metal rod in the base (see Fig. 1, c), so the deformation does not occur directly in the sculpture material. With the exception of the latter, two critical areas are observed: at the back of the foot on the Achilles tendon (Fig. 8, zone 4), and another on the previous side of the talus (Fig. 8, zone 5).

Excluding the area located on the sole of the right foot, the greatest mechanical stress is found on the front of the right support. Maximum stress in this zone is 14 MPa (safety factor = 7.2). In addition, the right foot will always be in a more unfavourable situation due to the construction characteristics set out in section 1. Introduction. The left foot is made up of a single piece, while the right foot is a joint of several pieces. This union of pieces facilitates the appearance of the crack.

This area of the talus coincides exactly with the opening point of the crack in the right foot of the Cristo de la Sangre (Fig. 9.a). At

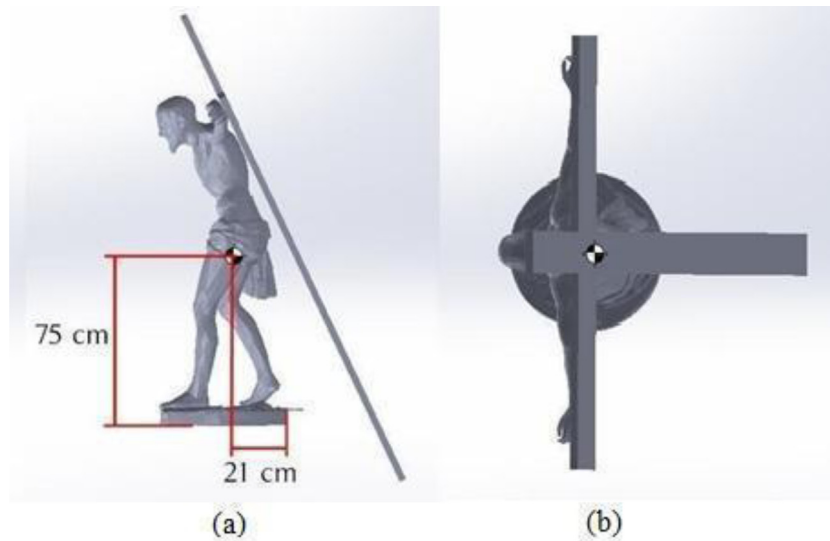


Fig. 6. Centre of mass. (a) Side view of the model, (b) Plan view of the model.

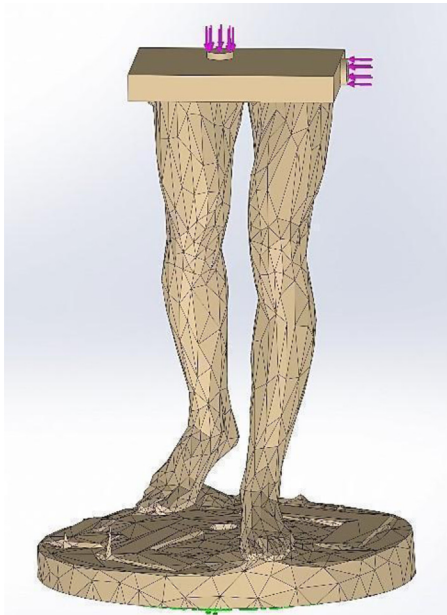


Fig. 7. Simulation model with load conditions.

this point the initial crack opens and advances following the trajectory of the separation of the internal pieces of the foot (Fig. 9). Discussion: proposed solutions.

Finally, once the initial problems, the analytical approach and the result of the simulation have been explained, certain solutions are proposed that will contribute to maintaining the integrity of the Christ of the Blood. It is technically explained that these proposals reduce inertial force and the probability of cracking, but they do not guarantee the total disappearance of it. All of them are perfectly compatible.

5.1. General awareness

In a general way, the whole group of people who surround the Christ of the Blood (from the president of the Archconfraternity to any of the faithful) must be aware of the structural fragility of the sculpture. Every action on sculpture must be done with the conservation of its integrity as the only priority.

As explained in the section Dynamic-structural analysis, the origin of the force of inertia is in the people who carry it in procession. One of the most effective measures for reducing structural stress in sculpture is to minimize this difference in forces at the moment of stopping. People, as far as their physical conditions allow it and always maintaining the traditional style of loading, must soften this gesture by trying to lift in unison and avoid any unrec-

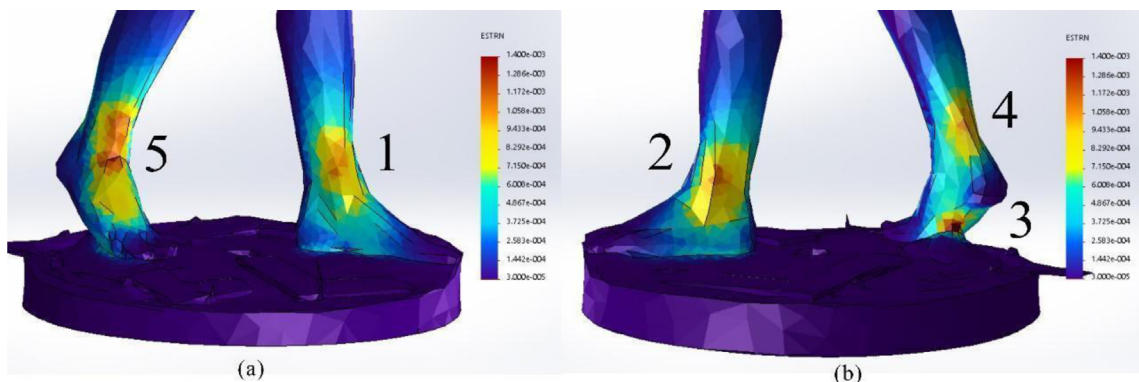


Fig. 8. Graphical results of equivalent unit deformations in side views. (a) Left side, (b) Right side.

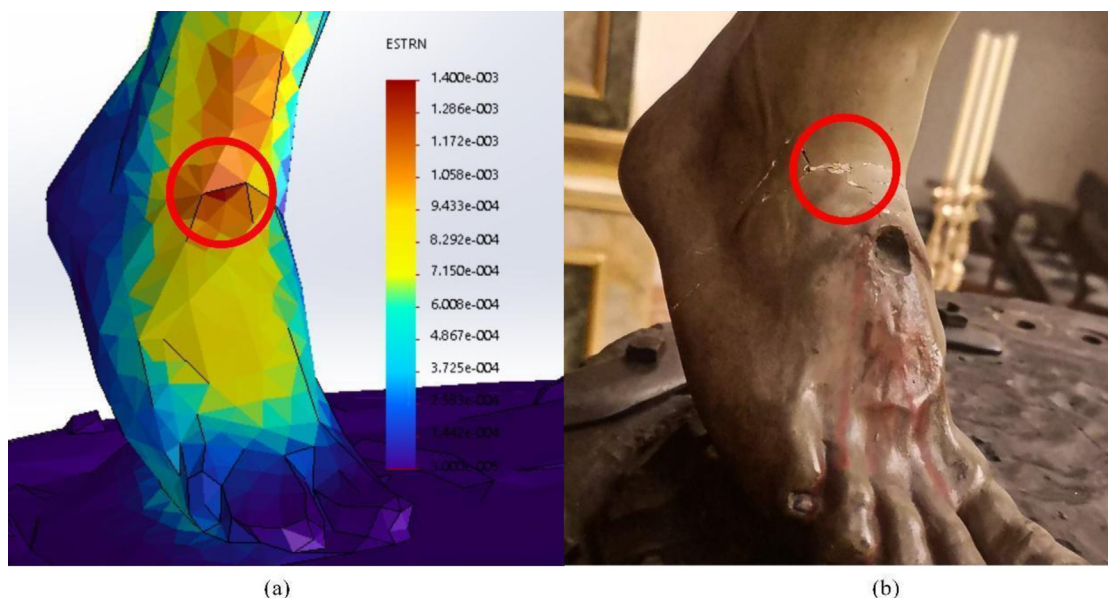


Fig. 9. Detailed comparison. (a) Computerized Simulation, (b) Real photograph (February 2020).

essary abrupt manoeuvres. By minimizing the torque, the angular acceleration of the assembly is also minimized Eq. (2).

5.2. Modifications to the throne

One of the basic modifications on the processional throne would be the reduction of its mass. With this, the fatigue of the people who carry it would be reduced, the throne would go down less along the procession, so the torque made would be reduced and also the acceleration that is induced.

According to Eq. (2), an increase in the moment of inertia of the whole would reduce the acceleration caused by the same torque. Therefore, another proposal would be to modify the mass distribution of the throne. In order to increase its moment of inertia and stability, it is necessary to move mass away from the axis of rotation under consideration. One option would be to place a mass belt along the entire perimeter of the platform. In conclusion, adding the above, the throne should be in a situation of maximum moment of inertia with the minimum possible mass.

On the other hand, according to Eq. (3), both the height of the base and the height of the centre of masses contribute to the increase of the inertia force. Lowering the center of masses from the sculpture of Christ is complicated, since it would involve adding mass at the base. Reducing the height of the base of the throne could be easier.

5.3. Modifications in the sculpture

Perhaps one of the simplest measures would be to add elastic elements in the union of the sculpture and the throne. This would increase the damping of the system, as explained in the section Type of load, softening the acceleration peaks.

On the other hand, uncoupling the cross from the sculpture would be structurally beneficial: the sculpture would bear less weight from the cross. Currently, the cross has two joints: at the base by means of a metal piece and at the back of the Christ sculpture. Due to the high inclination of the cross and the strong union at the back, the sculpture receives the greater part of the weight of the cross. It is proposed to incorporate a third support of the cross, clamping it rigidly to the structure of the throne. This union would be the main one, being able to reduce the tightness in the

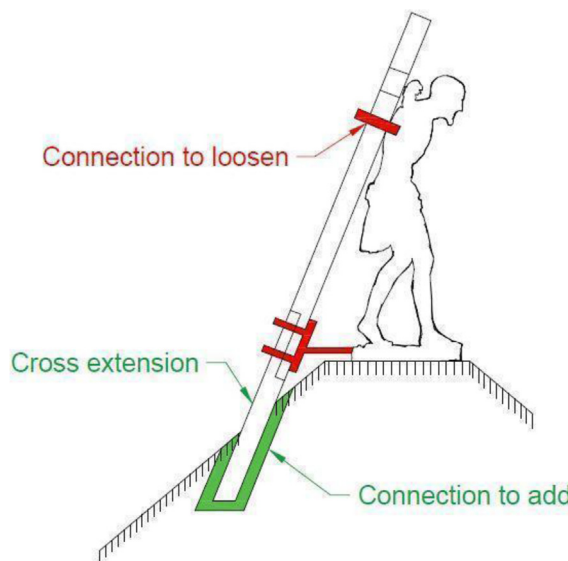


Fig. 10. Proposal for the support of the cross in the throne.

union of the cross with the back of Christ. In Fig. 10 the proposal is schematically represented in side section view.

5.3.1. Total or partial reproduction of the sculpture

The use of 3D printing to reproduce some parts is the most interventionist proposal. Firstly, it is possible to reproduce the whole formed by the base and the two feet. In this way, a continuous piece is obtained throughout the critical stress zone, and the union between the reproduced piece and the original sculpture can be transferred to a section with less mechanical stress, reducing the probability of cracking, creating an intervention in the partial sculpture. As a last option, the proposal is to manufacture a complete replica of the sculpture, based on the high-resolution digitised model. This option would have no intervention in the sculpture, as it would mean replacing the original sculpture with a replica. These solutions depend to a large extent on the technical feasibility of the manufacturing methods.

Table 3
Summary of proposed solutions vs issues in its development

| Proposed solutions | Technical complexity | Economic investment | Intervention in sculpture |
|---|----------------------|---------------------|---------------------------|
| Reduction of throne mass | Medium | Very low | Null |
| Redistribution of mass on the throne | Low | Low | Null |
| Stand height reduction | Medium | Medium | Null |
| Inclusion of elastic elements in the joints of Christ | Low | Very low | Very low |
| Incorporation of the third support of the cross | Medium | Medium | Very low |
| Partial sculpture reproduction | High | High | High |
| Total reproduction of the sculpture | Very high | Very high | Null |

5.4. Summary and technical assessment

The Table 3 summarizes all the proposals, which are evaluated with respect to several technical criteria.

6. Conclusions

The main conclusions that we have obtained from this investigation lead us to confirm the suspicions that the area of the feet of the Christ of the Blood is subjected to a state of tension and forces that are too high and that cause, to a great extent, recurrent and constant damage to the sculpture.

It has been demonstrated that, specially, the right foot is subjected to a situation of mechanical fatigue that, together with the alternation of numerous cycles of traction and compression efforts, to which it is subjected during the parades of the Spanish religious festivities, originates the micro cracks in the material and compromises the integrity of the internal piece. To make this statement, after deducing the mathematical equations that govern it, it has been analysed by means of a study of forces, its centre of masses, axis of rotation and moments of inertia. The main technique has been finite element computerized simulation.

Likewise, the results of the unitary deformations produced by the sculpture have been shown graphically and numerically, with the maximum deformation being found in the area of the right ankle, coinciding exactly with the opening of the recurrent crack and following the trajectory of separation of the different internal pieces that make up this foot.

Likewise, it is clear the importance of the use of new technologies, 3D digitization and techniques such as video measurement to carry out studies and analyses that allow to solve problems of integrity, prevention and conservation of heritage from parading, because without these tools, the study carried out would not have been possible. On the other hand, sensing is an emerging and necessary technology to increase the accuracy of these simulations.

Finally, on the basis of results and the quality of the available 3D models, a set of possible solutions to resolve the structural problems detected, to allow the tradition goes on affecting the integrity of the heritage as little as possible, have been proposed. In spite of the fact that each one should be studied in depth, a quick and concise preliminary analysis of their development has been carried out according to their technical complexity, economic investment and degree of intervention in the sculpture. The incorporation of a third support of the cross, the redistribution of mass on the throne and the inclusion of elastic elements in the joints of the basement, have been found in this order as the most feasible solutions to be carried out without modifying the sculpture as a whole.

References

- [1] M.C. Sánchez-Rojas, El Escultor Nicolás de Bussy, Universidad de Murcia, Murcia, 1982.
- [2] A.M. Buchon, Escultores extranjeros maestros del Gremio de Carpinteros de Valencia: Nicolás de Bussy, Julio Capuz y Francisco Stolf, Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura 1–4 (76) (2000) 161–168.
- [3] M.J. López Azorín, M.C. Sánchez-Rojas, Notas para una biografía del escultor D. Nicolás de Bussy, Boletín del Museo Nacional de Escultura 8 (2004) 29–36.
- [4] R. Alonso Moral, Nicolás de Bussy, escultor del rey. Su etapa en el Palacio de Aranjuez, in: V. Montojo. (Ed.), Nicolás de Bussy: Un Escultor Europeo en España. Tercer centenario de su Muerte (1706–2006), Real Academia de Bellas Artes de la Arrixaca, Murcia, 2006, pp. 33–53.
- [5] I. Alcántara, El Cristo de la Sangre, de Nicolás de Bussy. Iconografía e historia, in: J.J. Moya, Vid salvífica. Antigua y Venerable Cofradía de la Sangre de Cristo y la Vera Cruz de Calasparra, 2010, pp. 181–199.
- [6] F. López Soldevila, in: Catálogo de Obras Restauradas, 1998 a 2007, Centro de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Región de Murcia, Murcia, 2008, p. 70.
- [7] M.D. Piñera Ayala, Nuevas aportaciones al proceso de restauración del Cristo de la Sangre: la restauración del Cristo en los años 50 por Juan González Moreno, Imafrente 139 (2018) 187–194.
- [8] J. Bernal, F. López Soldevila, et al., in: Cristo de la Sangre Nicolás de Bussy. La imagen restaurada, Ayuntamiento de Murcia, Centro de Restauración de la Región de Murcia, Murcia, 2004, p. 13.
- [9] M. Bagnérís, et al., A complete methodology for the mechanical diagnosis of statues provided by innovative uses of 3D models. Application to the imperial marble statue of Alba-la-Romaine (France), J. Cult. Herit. 28 (2017) 109–116.
- [10] R. Melendreras Ruiz, M.T. Marín Torres, P. Sánchez Allegue, Workflow for 3D digitization using photogrammetry of polychrome wood carvings of the Holy Christ of Blood and his angel, E-rph 27 (2020) 52–83, doi:10.30827/e-rph.v0i27.17901.
- [11] R. Melendreras Ruiz, M.T. Marín Torres, P. Sánchez Allegue, Comparative analysis between the main 3D scanning techniques: Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in religious imagery: the case of the Christ of the Blood, J. Comput. Cult. Herit. 15, Issue 1, (2022), Article No.: 18, pp 1–23, <https://doi.org/10.1145/3469126>
- [12] X. Zhu, S. Yu, Measurement angular velocity based on video technology, in: 4th International Congress on Image and Signal Processing, Shanghai, 2011, pp. 1936–1940.
- [13] J.E. Shigley, et al., Theory of Machines and Mechanisms, TJ145. S54 1983, McGraw-Hill, México, 1983 (Chapter 4).
- [14] J.E. Shigley, et al., Theory of Machines and Mechanisms, TJ145. S54 1983, McGraw-Hill, México, 1983 (Chapter 13).
- [15] C.H. Norris, J.B. Wilbur, in: Elementary Structural Analysis, McGraw-Hill, 1960, p. 59.
- [16] Lisha Li, et al., Dynamic characteristics and seismic responses of painted sculptures of Dunhuang Mogao Grottoes, J. Cult. Herit. 22 (2016) 1040–1048.
- [17] Andrea Borri, Andrea Grazini, Diagnostic analysis of the lesions and stability of Michelangelo's David, J. Cult. Herit. 7.4 (2006) 273–285.
- [18] R.G. Budynas, J.Keith Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, v. 6, McGraw-Hill Interamericana, 2012 (Chapter 6).
- [19] J. Bernal, F. López Soldevila et al., Cristo de la Sangre Nicolás de Bussy. La imagen restaurada, Ayuntamiento de Murcia, Centro de Restauración de la Región de Murcia, Murcia, 2004, p. 20.
- [20] M. Kiaei, Physical and mechanical properties (hardness and nail of resistance) variation of Cupressus sempervirens wood in longitudinal axis of tree, World Appl. Sci. J. 11 (3) (2010) 327–329.
- [21] I.S. Maha FM, AS Ghorab, M.M. Abbas, Biomass and some mechanical properties for cupressus sempervirens and corymbia citriodora planted in serabium sewage station, J. Plant Prod. 9 (8) (2018) 637–640.

TRANSLATION: ESPAÑOL

Desarrollo de una Réplica Táctil Para Experiencias Inclusivas de Artefactos Religiosos

Paloma SÁNCHEZ ALLEGUE, Rafael MELENDREAS RUIZ, AND María Teresa MARÍN TORRES

Recommended Citation: Sánchez Allegue, P., Melendreras Ruiz, R. & Marín Torres, M. T. (2022). Desarrollo de una réplica táctil para experiencias inclusivas de artefactos religiosos. (P. Sánchez Allegue, R. Melendreras Ruiz And M. T. Marín Torres. Trans.) Curator: The Museum Journal. 65.2,333-353

Original Article: **Development of a Touchable Replica for Inclusive Experiences of Religious Artifacts.**

Paloma SÁNCHEZ ALLEGUE, Rafael MELENDREAS RUIZ and María Teresa MARÍN TORRES First published. April 2022.

Primer traductor:

Paloma SÁNCHEZ ALLEGUE,
Universidad Católica San Antonio de
Murcia
Campus de los Jerónimos, Guadalupe
30107 (Murcia)
España.

Catholic University of Murcia
Jeronimos Campus,
Guadalupe 30107 (Murcia)
Spain
Email: psallegue@gmail.com

Resumen El objetivo principal de este artículo es introducir una primera experiencia inclusiva en un museo convencional que hasta ahora solo exhibe esculturas religiosas y su evaluación por personas ciegas y discapacitados visuales. Por este motivo, se decidió desarrollar una experiencia multisensorial dirigida a personas ciegas y discapacitados visuales, aprovechando el potencial de las nuevas tecnologías de escaneo e impresión 3D. La experiencia se centra en una réplica táctil del busto del *Cristo de la Sangre*, una obra maestra del barroco muy venerada en Murcia. Se muestra el proceso completo del desarrollo de la réplica, forma de diseño y fabricación, combinando tecnología y tradición. Además del sentido del tacto, la experiencia incorpora descripciones de audio detalladas y olores, para proporcionar información adicional valiosa. Además, las tecnologías radio móviles, como las balizas, se utilizan con fines de orientación. Las personas ciegas y discapacitados visuales juegan un papel activo en este proyecto, tanto en el diseño como en la validación de las experiencias.

Palabras clave: Digitalización 3D, Impresión 3D, Experiencia Multisensorial, Multimedia, Accesibilidad, Inclusividad, Discapacidad Visual, Bleepcons.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los museos han sido principalmente espacios visuales (Candlin, 2003; Wilson et al. 2018). Sin embargo, el desarrollo de técnicas de digitalización e impresoras 3D han permitido la

Paloma SÁNCHEZ ALLEGUE (psallegue@gmail.com) es Modeladora BIM y Técnica de Transformación Digital en Drónica. Es Ingeniera de Edificación especializada en digitalización 3D utilizando tecnologías de escáner láser, escáner de luz estructurada y fotogrametría aérea y terrestre para obtener modelos 3D de alta calidad. Rafael MELENDREAS RUIZ es Doctor Ingeniero de Telecomunicación y Vicedecano del Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación de la UCAM. Su docencia se centra en los sistemas de telecomunicaciones, visión 3D y tecnologías para la digitalización. Su investigación se centra en la Televisión Digital, la Innovación Tecnológica y las Tecnologías de la Comunicación aplicadas al Deporte, las Ciencias de la Salud y el Patrimonio. María Teresa MARÍN TORRES es Catedrática del Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Murcia y directora del Museo Salzillo. Su docencia, investigación y publicaciones se han centrado en la Museología, el Patrimonio y el Arte Barroco, sobre los que ha organizado cursos y seminarios.

Curator: The Museum Journal 2022, 65.2 333-353 DOI: 10.1111/cura.12472

posibilidad de crear diferentes productos y modelos de objetos, desde reproducciones a pequeña escala, moldes y piezas para restauración, hasta el desarrollo de réplicas a tamaño real en sus museos, dando la posibilidad de interactuar con ellos, algo impensable de hacer con obras originales. Estas réplicas en 3D, junto con aplicaciones para dispositivos portátiles (teléfonos móviles, tabletas, etc.) juegos y avatares en lengua de signos son algunas de las tecnologías que los museos están incorporando a sus exposiciones actuales (Solima, 2016).

Estas tecnologías, junto con los nuevos medios interactivos y sensoriales, se utilizan cada vez más para atraer y llegar a nuevas audiencias, como las personas con algún tipo de discapacidad (Candlin, 2006). Sin duda, siendo el grupo que más se benefició de la introducción y búsqueda de nuevas formas de interactuar con el patrimonio.

Personas con discapacidad visual y/o auditiva han participado en esta investigación para demostrar que surgen diferentes necesidades y requerimientos para diferentes capacidades. Además, los museos, de la mano de las nuevas tecnologías, pueden dar respuesta a esas necesidades, como se muestra en este documento. Con la utilización de herramientas que han sido diseñadas para hacer más accesible el patrimonio, incluyendo aplicaciones con información, audio-descripción, recursos multi-sensoriales, principalmente táctiles y olfativos, como relieves táctiles y el uso de aromas (Jafri y Ali, 2015).

EXPERIENCIAS DE ACCESIBILIDAD EN MUSEOS

En cuanto a la accesibilidad en los museos, experiencias pioneras como la Obra Seminal de Walter Benjamin destacaron que el uso de réplicas y reproducciones táctiles son una solución para mejorar la experiencia del visitante sin poner en peligro la dotación del museo (Benjamin, 1955; Solima y Tani, 2016).

Por otro lado, la innovación tecnológica en estas instituciones, además de dar respuesta para hacer frente a la demanda de servicios más avanzados y complejos por parte de los usuarios (Addis, 2002), es consecuencia de la creciente competencia por la atención de los visitantes (Bonacini., 2011) y de una de las cuatro dimensiones fundamentales de la accesibilidad, la digital, identificada por Solima en 2014.

La centralidad ocular y paradigmas como el de la "caja de cristal" (Candlin, 2003; Dudley, 2010, 2012, 2015; Wilson et al. 2018) son claros exponentes de la tendencia generalizada por parte de museos y exposiciones a enfocar la experiencia de los visitantes en el sentido de la vista y en la sobreprotección de las obras, relegando la accesibilidad por parte de ciegos y discapacitados discapacitados visuales a un segundo plano. El conflicto costo-impacto en muchos casos justifica este *modus operandi* al limitar a los museos a cumplir exclusivamente su función social (Eardley et al. 2016; Walters, 2009). Nada más lejos de la concepción museística actual enunciada por Wang, quien atribuye un mayor compromiso a la conexión e interacción compleja con los sentidos y la experiencia, y se suma a

la función educativa, la de un centro social, un centro de contemplación e incluso de sanación (Wang, 2020).

El problema de la accesibilidad a los museos, así como el análisis de las principales barreras - físicas, cognitivas e informativas- ha sido ampliamente estudiado (Addis, 2002; De Luca, 2007; Rappolt-Schlightmann y Daley, 2013; Rovidotti, 2004; Solima, 2012; Vescovo, 2002; Walters, 2009). Mientras que algunos autores señalan la relevancia de apostar por enfoques centrados en el visitante, al tiempo que les dan un papel activo en su diseño (Ballantyne y Uzzel, 2011; Eardley et al. 2016; Goulding, 2000; Solima, 2014), otros denuncian la escasez de investigaciones que consideren sus necesidades (Neumüller et al. 2014; Wilson et al. 2018).

En Eardley et al. (2016) se justifica que el acceso a los museos por parte de los discapacitados es un asunto de importancia y que la solución debe consistir en el "acceso para todos", centrado en la estimulación multisensorial, que corresponde a la realidad del mundo en el que operamos, a la vez que potencia y beneficia el aprendizaje (Lillard y Else-Quest, 2006; Montessori, 2013). Este tipo de acceso ya fue identificado hace años por Dodd y Sandell (1998). En este sentido, Candlin sugiere la implementación de rutinas de aprendizaje no visual (Candlin, 2003). A partir del estudio pionero *The full sensory engagement – multisensory experiences* (Davidson et al. 1999), cada vez más personas reconocen el valor social, cognitivo e incluso terapéutico que proporciona la interacción con objetos sensoriales, especialmente para las personas con discapacidad (Candlin, 2004; Clintberg, 2014; Coster and Loots, 2004; Hetherington, 2000; Vermeersch et al. 2018).

Aunque la ciencia ha demostrado que el sentido de la visión predomina sobre el sentido del tacto, la importancia de este último es reconocida por muchas de las culturas de las civilizaciones más antiguas (Williams, 1966). El tacto es el sentido que proporciona el contenido emocional más poderoso (Gallace y Spence, 2010). Los estudios de campo y de laboratorio en el área de las neurociencias afirman que el tacto puede tener un efecto positivo en nuestros procesos cognitivos y en nuestro bienestar general (Ackerman et al. 2010; Jansson-Boyd & Marlow, 2007; Spence y Gallace, 2008).

Muchas esculturas son concebidas y creadas por sus autores para ser tocadas, pero la preservación del patrimonio priva a los usuarios de esta experiencia, por lo que la pregunta que debemos hacernos es: ¿Qué nos perdemos al no poder tocar? (Tacha, 1963). En sus obras *Comienzo del mundo o Escultura para ciegos*, el escultor Constantin Brancusi intenta responder a esta pregunta (Barassi, 2010). Candlin (2006) afirma que el tacto se usa con frecuencia para llenar vacíos/vacíos de visión por parte de ciegos y discapacitados visuales. Otras investigaciones apuntan a la importancia de adoptar una actitud activa mientras se juega, así como tener libertad de movimiento, para dar forma a una experiencia sensorial más rica, "háptica", en lugar de "táctil" (Gallace y Spence, 2010). Del mismo modo, Wilson et al. (2020) discuten que la práctica moderna de los museos proporciona igualdad de acceso para todos, pero el acceso para audiencias ciegas y con discapacidad visual (BPS) sigue siendo problemático dada la naturaleza de los museos, centrados en el sentido de la vista.

La base para la aplicación de las nuevas tecnologías al ámbito museístico es la digitalización de las piezas, en particular el registro de sus geometrías y texturas, relieve y color respectivamente. Investigaciones como las desarrolladas por Remondino (2011), Scopigno et al. (2014), Melendreras et al. (2020) y Melendreras et al. (2021) se centran en identificar el flujo de trabajo y las técnicas óptimas para desarrollar este proceso con la máxima eficiencia y calidad.

Los principales usos de la digitalización incluyen, por un lado, el desarrollo de productos digitales, como visitas virtuales (Ballantynes y Uzzel, 2011), modelos 3D (como <https://sketchfab.com/britishmuseum>) y aplicaciones (web y móvil), y por otro, físicos o materiales, como la reproducción de réplicas a escala, la fabricación de souvenirs, etc. (ver tabla 1 en Solima, 2016).

En lo que respecta a la reproducción de réplicas, la impresión 3D, a diferencia de otros métodos basados en técnicas de fabricación sustractiva o la creación de moldes, además de ser menos costosa e invasiva, "es más simple, menos compleja, requiere menos tiempo (prototipado rápido) y, a pesar de la necesidad de trabajos de edición y post-procesamiento, esto proporciona una gran flexibilidad y adaptación en el diseño final del objeto a reproducir (forma, calidad, etc.)" (Scopigno et al. 2014, 2017).

Las aplicaciones de la impresión 3D para el colectivo de personas ciegas y discapacitados visuales son muy numerosas, destacando las destinadas a facilitar la orientación (mapas táctiles), descifrar el contenido de imágenes digitales e impresas (relieves de gráficos web, fotos y pinturas), la exploración táctil de objetos remotos, inaccesibles o grandes/pequeños y los destinados a la educación (Jafri y Ali, 2015), así como otros que se describen brevemente a continuación.

Las primeras propuestas para la fabricación de réplicas táctiles en 3D en museos, dirigidas a ciegos y discapacitados visuales, se basan en la estereoscopia de Neumüller, quien a su vez exige una mayor investigación en la identificación de metodologías y flujos de trabajo para el uso de la (Neumüller & Reichinger, 2013). Por otro lado, una investigación más reciente de Götzelmann (2017), en la que utilizan el potencial de las tecnologías de impresión para crear impresiones interactivas, proporciona una visión general de los enfoques esenciales para la creación de diversos materiales táctiles utilizando impresoras 3D.

En la investigación de Reichinger et al. (2018) se realiza el desarrollo de un relieve 2.5 D a partir de un escaneo 3D, que además es utilizado junto con su audioguía interactiva basada en gestos. En esa investigación se presenta una técnica de proyección de vista de perspectiva mixta y se desarrolla una técnica de compresión de profundidad que preserva los detalles para aplanar partes menos importantes. Del mismo modo, D'Agnano et al. (2015) crea un anillo inteligente que permite navegar por cualquier superficie 3D con las yemas de los dedos y, a cambio, obtener contenido de audio que sea relevante para la parte de la superficie que se está tocando actualmente.

A continuación, Ballarin et al. (2018), se centra en la validación técnica de réplicas 3D en términos de precisión y resolución métrica, tanto para visualización, catalogación y estudio. De esta

manera, se analizan las características métricas del modelo impreso en relación con el original y se optimiza el proceso desde la encuesta hasta la representación física del objeto. Por su parte Navarro and Fonseca (2012) emplea modelos 3D para aplicaciones con realidad aumentada, y Di Guseppantonio Di Franco et al. (2015) propone la creación de réplicas 3D multisensoriales.

Un aspecto importante destacado por Candlin (2003) es la importancia que las propiedades físicas de los objetos tienen para los ciegos y discapacitados visuales, y más concretamente la elección del material más adecuado para que la percepción visual y la sensación táctil se correlacionen (Spence y Gallace, 2008). De especial interés son los estudios realizados por Wilson, centrados en la evaluación de la preferencia del usuario sobre las propiedades físicas de las réplicas 3D táctiles (Wilson et al. 2018). En sus conclusiones destacan aquellas réplicas realizadas en resina que son las impresiones 3D favoritas de los usuarios. La verosimilitud, entendida como el realismo, grado de detalle, resolución visual y táctil con respecto al original, es el factor dominante en su preferencia, por delante de la calidad y la robustez. Las escalas más confiables asociadas con este factor son buenas/mala calidad, claridad/confusión, realista/poco realista, detallada/no detallada, aburrida/interesante. Paralelamente a este estudio, otras experiencias muestran el alto nivel de satisfacción de los sujetos participantes después de experimentar con réplicas jugables, incluso prefiriendo la interacción con ellos que la observación de los originales (Hoyt, 2013; Krantz, 2013).

En cuanto a la implementación de experiencias prácticas con réplicas táctiles impresas en 3D, algunos autores advierten de un riesgo asociado a la manipulación de objetos -peligro, suciedad, orden, etc.- (Hetherington, 2000, 2003; Spence y Gallace, 2008) por grupos de ciegos y discapacitados visuales. Solo la erradicación de estos parámetros garantiza una puesta en marcha efectiva de exposiciones de esta naturaleza (Solima y Tani, 2016).

Por último, las experiencias centradas en la exposición de réplicas táctiles de objetos museísticos del exterior son de gran interés, como extensión del museo hacia el exterior. Su exposición a personas enfermas en hospitales, prolongando su función educativa e incluso destacando al sanador (reminiscencia), por generar ambos un impacto positivo en el bienestar del paciente (Chatterjee et al. 2009).

Este es el estado actual de la investigación bps con impresión 3D en el patrimonio cultural. Aquí hemos hecho un breve resumen de la investigación más importante o más relevante para nosotros, en la que nos hemos basado para llevar a cabo nuestra investigación y proyecto en este campo.

LOCALIZACIÓN: MUSEO CRISTO DE LA SANGRE (ESPAÑA)

El museo objeto de este estudio es propiedad de la *Archicofradía de la Sangre*¹, la hermandad penitencial más antigua de la ciudad de Murcia (España), creada en 1411. Entre sus colecciones, alberga principalmente esculturas de madera policromada que datan de los siglos XVII al XXI.

Nicolás de Bussy es el autor del *Cristo de la Sangre*², que data de 1793, una escultura única en su género, llena de simbolismo, ya que representa a Jesús crucificado pisando la uva del lagar místico, mientras un ángel recoge la sangre en un cáliz que brota de su costado, y que es objeto de estudio de este artículo. Es una obra de arte con gran devoción religiosa en la ciudad, pero se ve degradada por su procesión anual cada Semana Santa. De ahí que la cofradía decidiera digitalizar esta pieza emblemática para el patrimonio histórico de la ciudad, para protegerla y preservarla para el futuro, pero también para una mayor difusión cultural e incluso devocional.

La institución museística fue fundada en 1994 en la iglesia arciprestal de Nuestra Señora del Carmen de Murcia. Desde diciembre de 2018, el museo se encuentra junto a la iglesia, en las instalaciones de una antigua escuela. Especialmente destacable es su instalación o museografía con las esculturas en el mismo plano que los visitantes, sin pedestales, en salas oscuras con una fuerte iluminación que realza el sentido dramático.

En su misión de tener una mayor proyección social y ser un activo importante del tejido cultural de la Región de Murcia (Cruz, 2021: 104), cabe destacar la digitalización de parte de sus colecciones y la creación de una visita virtual (<https://museo.museocristodelasangre.com>) que permita un mejor conocimiento de sus fondos. La réplica táctil del busto del *Cristo de la Sangre*, como se puede ver en la Figure 1, está presente en el museo en la actualidad y se ha instalado en medio del recorrido, integrada en el discurso, y en el lugar cronológico donde se insertaría la pieza original, que se encuentra en su propia capilla en la iglesia. La réplica es accesible a todos los públicos, especialmente para personas ciegas y discapacitados visuales, gracias a la experiencia que hemos desarrollado. Esperamos que en el futuro la digitalización de las colecciones y la creación de la réplica táctil del busto convengan a la *Archicofradía de la Sangre* de la necesidad de seguir realizando réplicas táctiles de otras esculturas de la colección.

METODOLOGÍA. DISEÑO Y FABRICACIÓN

La metodología seguida en este artículo, que se describe a continuación, incluye cuatro fases distintas:

En la primera fase, se presentan los antecedentes de dicho estudio en base a una digitalización 3D previamente realizada y descrita en las publicaciones citadas en su apartado. Asimismo, se analiza la elección de esta escultura para el estudio por su relevancia en la localidad y las consideraciones previas respecto a la elección del diseño y producción de la experiencia.

En una segunda fase, se desarrolla el proceso de fabricación de la réplica, describiendo los aspectos a tener en cuenta para la impresión 3D, la realización de la policromía de la pieza, los elementos añadidos elaborados y el diseño del mueble que exhibe la pieza.

En la tercera fase, se desarrolla la experiencia multimedia, la tecnología utilizada, el contenido multimedia incorporado y su descripción.

Y en la cuarta y última fase, se desarrolla la prueba con los participantes y la encuesta.

FASE 1: ANTECEDENTES

I. La digitalización 3D

En investigaciones previas, el *Cristo de la Sangre* se digitalizó utilizando varias técnicas de digitalización diferentes: fotogrametría, escáner láser y escáner de luz estructurada, obteniendo resultados muy positivos, como se describen en Melendreras et al. (2020) y (Melendreras Ruíz, Marín Torres, & Sánchez Allegue, 2022; Melendreras Ruíz, Marín Torres, Sánchez Allegue, & Martínez Reyes, 2022). Se concluyó que el uso combinado de escáneres de luz estructurada de media y alta resolución, estos últimos enfocados en la digitalización de elementos pequeños como dientes, barba, nariz, etc., ofrecían los mejores resultados tanto en términos de precisión como en términos de calidad y eficiencia.

Por lo tanto, el modelo 3D obtenido consiste en una combinación de datos obtenidos de ambos tipos de escáneres, específicamente los modelos Eva y Spider del fabricante Artec 3D. Como se puede observar en la tabla 1, los valores relativos a la precisión del modelo Spider alcanzan resoluciones superiores a las del modelo Eva, obteniendo un mayor nivel de detalle sobre elementos pequeños. En cuanto a la ventana de digitalización, la del Spider es mucho más pequeña, precisando de más tiempo para la digitalización. Sin embargo, en cuanto a la textura, obtienen resultados similares, ya que la resolución y los sensores de color de sus cámaras son idénticos.

II. Propósito de la réplica

La réplica táctil está diseñada para que las personas ciegas y discapacitados visuales puedan "conocer" la escultura del *Cristo de la Sangre*, su busto, así como la historia y tradiciones de la Archicofradía de la que es propietaria.

Hasta ahora, la exposición alojada en el Museo Cristo de La Sangre no estaba dirigida a este colectivo porque el patrimonio y el diseño de la experiencia de usuario se centraban en la visualización de las tallas expuestas, de gran valor artístico, de madera policromada, que no se puede tocar por motivos de conservación. Por ello, esta iniciativa supone un paso adelante en inclusión y accesibilidad para este museo, un cambio de paradigma, así como una experiencia pionera en la exposición del patrimonio religioso a nivel internacional.

En la configuración del proyecto, además de abordar un enfoque multidisciplinar que involucra a técnicos en transformación digital, participan arquitectos, escultores y expertos en arte. Sus principales protagonistas y beneficiarios, ciegos y discapacitados visuales, han estado involucrados desde el principio.

III. Consideraciones previas y diseño

Con base en investigaciones previas en esta área (Wilson et al. 2018a, 2018b), debido a su alta resolución y consistencia, se elige la fabricación aditiva utilizando resina de alta densidad como técnica para la reproducción del busto.

La colaboración temprana con organizaciones para personas ciegas o parcialmente ciegas, como en nuestro caso la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles), ayudó a tomar decisiones importantes como la reproducción de la réplica con color, debido a que hay personas con grados de discapacidad visual que pueden percibirla. En este sentido, se aconsejó optar por el uso de altos contrastes de color en la reproducción de la obra.

Para lograr la resolución de color deseada para la réplica, fue necesario utilizar soluciones de impresión 3D indirectas como Polyjet o Color Jet. El elevado coste de estas soluciones nos hizo optar por la impresión en resina de un solo tono y la aplicación del color a través de un posterior proceso de policromado llevado a cabo por profesionales de la escultura.

En la sección 4.1. se mencionó que, para lograr la máxima resolución del modelo tridimensional obtenido para la réplica, se optó por la combinación de dos escáneres de luz estructurada de diferente resolución. Sin embargo, debido a que la resolución del modelo es mucho mayor que la de las impresoras 3D actuales, es necesario realizar una diezma o reducción de la calidad del modelo para que el software de impresión pueda importarlo y configurar el proceso de fabricación correctamente.

El modelo tridimensional generado del cuerpo completo del Cristo contiene 10 millones de triángulos. Posteriormente, se seccionó, quedando solo el busto, dando como resultado una malla de 1,5 millones de polígonos, que finalmente fue diezmada a 160 mil polígonos, casi una décima parte, para poder ser ingresado en el programa Ultimaker Cura para planificar la fabricación aditiva o impresión 3D.

FASE 2: FABRICACIÓN DE LA RÉPLICA

I. Impresión 3D del busto

Para la realización del busto en alta resolución, se decidió utilizar la tecnología de impresión 3D SLA (Sterolithography), que utiliza una resina fotosensible que endurece las capas impresas

mediante luz ultravioleta, debido a la alta resolución y detalle geométrico que obtiene, así como su facilidad de trabajo superficial para el alisado, adaptación y montaje de la pieza final. (Gibson et al. 2015).

La impresora SLA utilizada es el modelo Photocentric Hi-RES, con un volumen de fabricación de $195 \times 147 \times 230$ mm. Este equipo permite resoluciones de 25 a 100 micras, decidiendo utilizar las más altas. La resina elegida fue el modelo Photocentric FIRM, con una cantidad total utilizada de 2,8 litros. Esta resina es ideal para crear objetos de gran dureza y con una pequeña capacidad de compresión bajo alta fuerza.

Debido al tamaño del busto y al querer imprimirlo a escala completa, es necesario prepararlo para su impresión en varias secciones, una de estas piezas se puede ver en la figure 2, siguiendo el proceso de la siguiente manera:

1. El modelo tridimensional del busto se divide en 12 partes de volúmenes similares para ser impresas individualmente en la impresora; por lo tanto, se decide ser un modelo con un volumen mucho más alto que el volumen máximo de impresión del equipo.
2. A continuación, se genera un vacío interno en cada parte, dejando una pared exterior de 2,5 mm de espesor.
3. Posteriormente, se realizan estructuras de soporte a todas las piezas. Se decide generarlos en el lateral de la pieza con menos detalle geométrico para evitar al máximo posibles imperfecciones provocadas por ellos y facilitar su eliminación.
4. A continuación, se imprime cada pieza.
5. Finalmente, inmediatamente después de completar su impresión, el exceso de resina adherida se limpia con alcohol isopropílico y se deja curar (endurecer) a la z del día para obtener sus propiedades mecánicas finales.

Cada pieza impresa se puede ver en la figure 3, mientras que los tiempos de impresión aproximados de cada pieza se pueden observar en la Tabla 2.

Con las piezas completamente curadas, se realiza el proceso de montaje y unión de todas ellas, siguiendo los siguientes trabajos:

1. En primer lugar, se procede a la eliminación de los puntos de unión de los soportes mediante una mini amoladora con cabezal de lijado.
2. Inmediatamente después, las juntas se achaflanan, aproximadamente entre 2 y 3 mm a 45° para tener una superficie de relleno de resina posterior y hacer una unión adecuada entre piezas.
3. A continuación, se realiza un primer pegado utilizando Ciano acrilato para ensamblar todas las partes del busto.

4. Seguidamente, con el busto ya unido, se procede a rellenar las juntas previamente biseladas con la misma resina. Para este relleno se aplicaron capas delgadas de la misma resina con un pincel pequeño y se dejó curar con una lámpara de luz UV. Este proceso se repitió sucesivamente hasta que todas las articulaciones se llenaron por completo.
5. Posteriormente, procedemos a eliminar el exceso de material de las juntas con una mini amoladora y a pasar por encima de las juntas del busto con diferentes lijas de papel a base de agua para alisar las juntas y eliminar las marcas de las capas de impresión de todo el modelo.
6. Por último, el busto se rellena internamente con espuma de poliuretano para dar al busto una mayor dureza y eliminar la posibilidad de rotura o deformación del material (como se puede ver en la figure 4).

II. Policromía del busto

Siguiendo las recomendaciones realizadas por la ONCE, previo a la policromía del busto, se realizó un estudio en profundidad de la policromía original del Cristo, haciendo uso de todos los recursos digitales disponibles a nuestra disposición: fotografías 2D de alta resolución del proceso fotogramétrico inicial (36,4 Mpix - Cámara: Sony Alpha 7R Formato: RAW), fotografías históricas del archivo de la cofradía, el archivo de imagen de la textura del propio modelo 3D y el modelo 3D del busto subido a Sketchfab en formato.obj.

Los resultados de este estudio mostraron que la talla original del *Cristo de la Sangre* ya tiene un alto contraste de color inherente, apreciable entre los tonos pálidos de la piel y los tonos oscuros del cabello y la barba. Por lo tanto, se decidió que la policromía se pudiera hacer de una manera 100% realista, emulando el original y reproduciendo hasta los detalles más pequeños.

El proceso policromado se llevó a cabo siguiendo los pasos que se describen a continuación: (Consulte la figure 5 para obtener más detalles).

1. Análisis del material y ensayos previos

Los escultores responsables de la policromía nunca habían trabajado en el material de resina. Por esta razón, se proporcionan muestras parciales para la prueba. En estas pruebas iniciales, la desventaja frente a la arcilla o la madera está en la ausencia de porosidad, un aspecto que dificulta que cualquier tipo de pintura se adhiera y se seque. Con las diferentes pruebas, se concluyó que cualquier tipo de pintura acrílica, al agua o al óleo, aplicada directamente sobre la pieza, se adhería muy bien al material. Sin embargo, se encontró que una aplicación directa era muy vulnerable a rascarse o frotarse. Por lo tanto, se decidió aplicar una base de gesso antes de la policromía.

2. Técnicas policromadas: preparación de la base

Gesso es un preparado a base principalmente de yeso y pegamento, muy utilizado en el mundo de la pintura para dar las primeras capas de imprimación a marcos y lamas como base preparatoria para la

posterior pintura con óleos, temperamentos, etc. Tras su elaboración en el taller, se aplicaron dos capas del producto, consiguiendo un acabado blanco que sujetaba perfectamente a la resina. De esta manera, se logró que el busto tuviera una base porosa, donde la policromía pudiera adherirse sin problemas.

3. Proceso policromado

El busto fue policromado a la manera tradicional, utilizando una base de color con un acabado al óleo y barnices finales. Contiene dos bases de color acrílico, otras dos de color óleo, esmaltes y matices específicos para imitar el paso del tiempo y la edad en una pintura actual. Otro inconveniente importante encontrado, como resultado de la resina, fue que el proceso de secado fue dos veces más lento entre capas debido a su baja y lenta absorción. Se prestó especial atención a los contrastes de color, alzando el blanco de la piel, la oscuridad del cabello o el rojo de la sangre, como se ve en la policromía original de Cristo. Además, haciendo hincapié en zonas con falta de profundidad como en la boca, o resaltando las arrugas y cortes de las heridas en la frente, cuello, hombros y pecho. A su vez, destaca el acristalamiento de los ojos para que parezcan de vidrio y hacer más vívida la reproducción.

Teniendo en cuenta sus características táctiles, finalmente se terminó aplicando una capa de barniz con un tipo de satén cepillado para dar un toque suave y fiable al relieve, proteger contra la suciedad y facilitar la limpieza de la réplica al mismo tiempo.

III. Elaboraciones adicionales

Se hicieron dos adiciones a la réplica como la peluca y la corona como se puede ver en la Figure 6.

Peluca

En cuanto a la peluca hecha para este busto, y teniendo en cuenta sus principales destinatarios y uso, se tuvieron en cuenta cuatro características principales que difieren ligeramente de la peluca de Cristo original. Estos fueron:

1. La longitud del cabello: Al ser un busto y no mostrar la espalda completa del Cristo, se consideró innecesario alcanzar la longitud del cabello original que llegaría a la cintura. Por lo tanto, se decidió obtener una longitud de aproximadamente 35 cm de acuerdo con el tamaño del busto, y solo 3 cm más allá del borde de la base de soporte.
2. El volumen craneal: se consideró que tampoco era necesario utilizar la cantidad de pelo que suelen necesitar las imágenes originales que desfilan, ya que, al ser observables desde una distancia más cercana en lugar de encima de un trono, se vería una peluca exagerada y poco convincente. Se decidió reducir la cantidad de pelo con respecto al original.
3. La separación del cabello: Esta peluca está hecha con la particularidad de ser tangible. Por esta razón, el cabello se parte en tela de malla con un fondo marrón como se hace hoy en día en

pelucas. Esta técnica es más sufrida y duradera que la utilizada en la peluca original, que utiliza láminas blancas de hilo o algodón, como se hacía hace siglos.

4. El tono del cabello: El tono del cabello utilizado para la peluca es ligeramente más oscuro que el de las pelucas habituales, buscando así aumentar el contraste con la policromía de la cara.

La fabricación de la corona también conlleva algunas modificaciones con respecto al proceso tradicional, ya que sus espinas no deben perforar al usuario porque son táctiles.

IV. Corona

La corona fue hecha siguiendo la técnica murciana del siglo XVIII utilizada por el famoso escultor Francisco Salzillo (Murcia, España, 1707–1783). El material utilizado es una cuerda, del tipo cuerda, que se baña con "cola de conejo" y una vez drenada se trenza para dar la forma deseada con el perímetro de la cabeza. El pegamento de conejo es un aditamento que utiliza colágeno animal, en este caso de conejo, para crear la base del adhesivo. En nuestro caso, el perímetro era de 53 cm por 4 cm de altura. Con la forma deseada, finalmente se baña en una mezcla líquida del mismo pegamento y yeso. Las espinas de la corona se hicieron con poxilina, una masilla que se endurece al secarse y permite trabajarla para redondear las puntas, eliminando el riesgo de perforación durante la interacción. Por último, está decorado con una base de color marrón oscuro y crema dorada con toques de betún.

V. Diseño de muebles réplica

Desde la ONCE se nos informó que la interacción de los objetos debe hacerse libre de obstáculos y a una altura cómoda para las manos, más o menos a la altura del vientre.

De esta manera, se decidió construir una base rectangular de 1,10 metros de altura con una base ajustada al perímetro del busto de 40 cm de ancho por 30 cm de profundidad. La base, hecha de madera lacada en negro para mayor consistencia con las existentes en el propio museo, se dejó hueca y registrable, debido a que se instaló un contrapeso en el interior para evitar que se vuelque y un transmisor especial de radiofrecuencia (baliza) para facilitar la ubicación del busto por parte de los usuarios dentro del museo.

Como resultado del contenido multimedia desarrollado para la experiencia, se decidió fabricar y adjuntar dos relieves táctiles 3D adicionales a los lados de la base, uno de los emblemas de la cofradía y el otro del ángel que recoge la sangre de Cristo, ambos impresos en plástico ABS, pintados en color bronce y barnizados en acrílico brillante para resistir el tacto.

Finalmente, se instalaron dos placas en la parte frontal del pedestal, la principal, horizontal e inscrita en Braille, que contiene el título del proyecto y gracias a las personas que han hecho posible este proyecto. Debajo de esto, una placa de metacrilato con la misma información en texto plano.

FASE 3: EXPERIENCIA MULTISENSORIAL

Esta fase se concibe necesariamente como multisensorial porque para disfrutar de una experiencia completa, las personas con discapacidad visual necesitan tanto el sentido del tacto como otros sentidos como el oído y el olfato, sirviendo estos como vehículo tanto para guiar la interacción como para ilustrar con mayor precisión el contexto de la obra.

I. Tecnologías accesibles

Para mejorar la accesibilidad, se incorporan a la experiencia tecnologías de señalización inalámbrica de uso regular. El objetivo inicial es que una persona ciega y deficiente visual pueda llegar fácilmente a la zona donde se encuentra el busto en todo el museo. Para ello, se decidió utilizar Beepcons[®], una tecnología desarrollada por la empresa Ilunion para la ONCE, y que consiste en un dispositivo transmisor de radio tipo baliza que utiliza tecnología Bluetooth Low Energy (BLE). A través de una app instalada en sus smartphones, los usuarios detectan la baliza que les guía hasta el busto mediante señales acústicas. Una vez allí, la propia aplicación Beepcons reproduce una audiodescripción preliminar del objeto y luego invita al usuario a hacer clic en un enlace web (<https://www.iluniontecnologiayaccesibilidad.com/beepcons>) que conduce a contenido multimedia alojado en YouTube, especialmente creado para guiar al visitante a través de la experiencia multisensorial.

II. Contenido multimedia de la experiencia

Inicialmente, solo se iba a desarrollar contenido de audio para personas ciegas. Pero finalmente, y bien valorado por la ONCE, se decidió diseñar un contenido audiovisual, teniendo en cuenta a aquellas personas con discapacidad con visión residual. Se desarrolló un montaje de vídeo utilizando el editor VideoPad en formato.mp4 con calidad Full HD (1920 × 1080) y una duración de 15 minutos. (<https://www.youtube.com/embed/9x9KjRw7qb8?v=9x9KjRw7qb8>).

El eje central de la experiencia es una voz en off, a cargo de la conocida periodista Miss Encarna Talavera, quien además de dar instrucciones precisas al visitante -sobre cómo posicionarse alrededor del pedestal, invitar a la desinfección de manos, la interacción, etc.- realiza tres historias diferentes, correspondientes a las fases en las que se divide la experiencia. Durante cada historia, la narración, en primer plano, se combina con imágenes y música de fondo especialmente elegida, así como los textos, desarrollados por un especialista, D. José Emilio Rubio.

En primer lugar, se narra la historia de la *Archicofradía de la Sangre*, seguida de sus principales tradiciones y sus desfiles procesionales, para detenerse por última vez en la talla del titular, el Santísimo Cristo de la Preciosísima Sangre o Cristo de La Sangre, obra del escultor Nicolás de Busy, y objeto de este estudio.

III. Descripción de la experiencia

La experiencia multisensorial tiene una estructura simple para que el visitante la entienda. Fundamentalmente, consiste en prestar atención al contenido multimedia, ya que contiene instrucciones precisas sobre cómo llevarlo a cabo. En su desarrollo se han tenido en cuenta los tiempos y pausas necesarias para llevar a cabo diversas operaciones como el correcto posicionamiento, la desinfección de manos o un tiempo razonable para la interacción. Para ello, cuenta con una estructura común en cada una de las fases en las que se divide.

La fase inicial es la bienvenida y la introducción. Después de esto, comienzan las historias que conforman la mayor parte de la experiencia.

La estructura de las historias también es muy simple y común a todos:

Primero, se dan instrucciones sobre cómo posicionarse con respecto a la base del busto.

A continuación, se reproduce una voz en off narrativa en la que se proporciona una gran cantidad de información histórica y descriptiva sobre el museo y su patrimonio.

Al final de la misma, se le invita a desinfectarse las manos con gel hidroalcohólico.

Y después de esto comienza una fase táctil:

1: Emblema de la cofradía en relieve: tras la narración de su historia.

2: Ángel en relieve: después de la narración de las tradiciones.

3: Busto 3D: Al final de la narración de Cristo.

Paralelamente a la narración, se introduce un componente sensorial adicional, el olfato. Se introducen olores de cera e incienso con el fin de recrear el paso de los desfiles por las calles o el contexto de Cristo en su capilla.

Finalmente, en el último anuncio se agradece al visitante su asistencia y concluye la experiencia. (Puede ver la interacción en la figure 7). En este sentido, el feedback después es importante, y se diseña una encuesta especial en Google Forms para recoger las primeras impresiones. (Se puede ver en la figure 8).

FASE 4: PRUEBA DE DESCRIPCIÓN Y PARTICIPANTES

I. Limitaciones

Este estudio se ha realizado bajo las circunstancias del Covid19, por lo tanto, la representatividad del grupo está sujeta a tales condiciones. Debido a las restricciones estatales de salud pública, en ese momento, no más de 10 personas podían reunirse para eventos educativos o sociales.

II. Desarrollo

El estudio y validación de la experiencia descrita anteriormente sigue la metodología Design Thinking[®], entendiendo como tal, aquella metodología que permite a los usuarios comprender realmente a través de encuestas o una entrevista en profundidad.

La elección de la muestra elegida se realiza en base a los criterios de los autores del estudio, centrándose en dos grupos diferentes: expertos en arte (escultores, restauradores, historiadores del arte, museólogos y educadores) y ciegos y discapacitados visuales. Los sujetos del primer grupo trataron de encontrar diferentes perfiles profesionales dentro de las áreas del arte a las que tuvimos acceso. Además, debido a las restricciones sanitarias impuestas por el gobierno del país, tuvimos que buscar profesionales cercanos a la región geográfica para facilitar su participación. Mientras que los perfiles y sujetos de este segundo grupo, fueron seleccionados y elegidos por la ONCE, encontrando principalmente los perfiles de ceguera total congénita, ceguera total causada, visual residual (ceguera parcial-discapacidad visual grave), y sordoceguera. Como particularidad, también se decidió realizar la misma prueba y encuesta al guía intérprete que acompañaba a la persona sordociega, aunque sus respuestas no han sido anotadas en los resultados.

El grupo de expertos en arte estaba formado por cinco profesionales y el grupo de ciegos y discapacitados visuales por siete. Las condiciones sanitarias y las restricciones impuestas en el país debido al Covid-19, recientemente liberado del aislamiento, fueron un problema para encontrar voluntarios con discapacidad visual de diferentes tipos que quisieran participar en el estudio. La encuesta está diseñada con prácticamente las mismas preguntas para los dos grupos, conteniendo un total de 29 para los expertos en arte y 23 para el grupo con discapacidad visual. La diferencia radica en que se suman algunas preguntas más al grupo de expertos en arte, relacionadas con la validación de la experiencia en el contexto museístico y la difusión del patrimonio.

La experiencia duró 25 minutos, incluyendo los 15 minutos de la historia multimedia y períodos de palpación de 5 minutos. Después de la experiencia, la encuesta se lleva a cabo individualmente en una oficina del Museo. Todos los participantes dieron su consentimiento antes de la visita.

La encuesta se divide en tres secciones:

- Sección 1: Correspondencia de las cinco primeras preguntas a cuestiones personales, nombre, perfil, antecedentes, etc.
- Sección 2: Preguntas relacionadas con la experiencia auditiva, olfativa y táctil incluyendo las elaboraciones adicionales. (Ver tabla 3)
- Sección 3: Cuestiones relacionadas con aspectos personales, emocionales o de opinión en asuntos generales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos estadísticos (que puede ver en la Tabla 3) que se muestran a continuación se basan en las preguntas de la Sección 2 del proceso de la encuesta, como se describe anteriormente, a través de las cuales pretendíamos recopilar la evaluación de los usuarios de la experiencia táctil, olfativa y auditiva.

Debido al pequeño tamaño muestral de los participantes del estudio y con la intención de proporcionar una estimación fiable que pueda extenderse a toda la población, se decidió analizar los resultados utilizando la distribución t de Student con un intervalo de confianza del 95%. Sin embargo, los valores medios resultantes que se muestran en las Figuras 9 y 10 deben interpretarse con cautela.

Los gráficos (Figure 9) muestran que los ciegos y la deficiente visión han sido más críticos en la evaluación de la totalidad de las experiencias. Mientras tanto, el grupo de expertos en arte evaluó las experiencias de manera positiva y uniforme.

A su vez, la experiencia olfativa es la que genera la mayor discrepancia por parte de los ciegos y discapacitados visuales, mostrando el intervalo de confianza más amplio y la evaluación media más baja. Por otro lado, la experiencia auditiva también muestra una alta valoración por parte de ambos grupos, aunque sin llegar a las obtenidas en la experiencia táctil. Por otro lado, la experiencia táctil revela los intervalos de confianza más bajos, posiblemente influenciados por las calificaciones dadas a la robustez (Q2) y las adiciones elaboradas (Q4 y Q5) de la réplica, como se muestra en los siguientes gráficos (Figure 10):

En cuanto a los resultados obtenidos en la Sección 3 de la encuesta, diseñada con preguntas abiertas, nos han permitido recoger valiosos feedback sobre la experiencia, orientado tanto a su optimización como al desarrollo de futuras experiencias en el entorno museístico.

A continuación, se presenta un resumen de las contribuciones más relevantes:

1. Posibilidad de crear réplicas a escala de todo el objeto y otra en detalle, por ejemplo, el busto.

2. Mejorar la iluminación en la sala. Las personas con ceguera parcial necesitan más iluminación indirecta (eliminación de zonas oscuras).
3. Reorganizar el orden de la experiencia. Prefieren atender primero a la audiodescripción completa y luego centrarse en la experiencia táctil.
4. Mejorar la señalización y la orientación en el museo mediante la instalación de marcas podotáctiles en el suelo.
5. Aumentar la altura del pedestal, elevándolo en aproximadamente 20 cm.
6. Aportar aún más realismo a la policromía. Por ejemplo, dar volumen a la pintura de las gotas de sangre.
7. Añadir más olores.
8. Agregar más música a la descripción de audio multimedia.
9. Agregar más elementos táctiles a la experiencia, como textiles y otros recuerdos.
10. Hacer una descripción global y detallada del entorno museístico donde se ubica la experiencia.

CONCLUSIONES

Una primera experiencia multisensorial inclusiva dirigida a personas ciegas y discapacitados visuales se ha desarrollado con éxito en un museo tradicional de Semana Santa, aprovechando el potencial de las nuevas tecnologías de escaneo e impresión 3D.

El innovador proceso de fabricación de la réplica basada en la impresión 3D proporciona importantes conocimientos y habilidades "en escultura" al perfeccionar la técnica de policromía sobre resina, como concluye Wilson et al. (2018) en el estudio sobre las propiedades físicas de réplicas impresas en 3D.

Las herramientas digitales mejoran el aprendizaje y acercan el patrimonio a quienes de otro modo no tendrían acceso a él. Además, permiten personalizar el diseño de la experiencia de usuario y el contenido. En este sentido, las aplicaciones móviles accesibles y los contenidos multimedia son herramientas muy potentes para guiar a las personas ciegas y discapacitados visuales a lo que van a experimentar. Algo que también concluyeron D'Agnano et al. (2015), di Guseppantonio et al., (2015), y Wang (2020). en sus estudios introduciendo la aplicación de nuevas tecnologías con un propósito inclusivo.

En cuanto a la validación, hubiera sido deseable una mayor muestra de personas en el proceso de validación, pero debido a los protocolos sanitarios (COVID-19) fue imposible convocar a un mayor número, dando prioridad a su perfil y representatividad. El grupo de personas ciegas y discapacitados visuales evalúa más rigurosamente la experiencia sensorial que los expertos en arte. Valoran muy positivamente la calidad táctil de la réplica fabricada, tanto por su definición y materiales, como por integrar diferentes texturas (pelo, rostro y corona). Por otro lado, los expertos en arte valoran mucho la posibilidad de tocar la réplica porque además de aportarles una experiencia inédita les proporciona un mayor conocimiento de la obra y sus detalles.

La introducción de aromas (incienso y cera) también es muy valorada por este grupo. Por otro lado, el grupo de expertos en arte y educación acredita tanto el rigor de la ejecución técnica de la réplica como su validez para el público en general.

El trabajo conjunto con organizaciones de ciegos ha sido decisivo a lo largo del proyecto, tanto para diseñar la experiencia, para validarla como para recibir feedback para mejorarla en el futuro.

Entre las consideraciones a tener en cuenta para futuros proyectos, destacamos la conexión de esta y futuras experiencias con el museo, la implementación de las mejoras sugeridas por la mayoría de los voluntarios ciegos y discapacitados visuales y la introducción de nuevas tecnologías inclusivas, como el sistema de guiado Navilens[®].

Las experiencias táctiles son mejor valoradas por los visitantes ciegos y con baja visión, pero benefician a todos los visitantes si están disponibles, porque el aprendizaje táctil también es valorado por cualquier persona que tenga la capacidad de sentir a través del tacto. END

NOTES

1. Nombre de la antiquísima hermandad católica fundada a finales de la Edad Media en Murcia, propietaria del patrimonio mencionado en este artículo y del Museo donde transcurre la experiencia. Para más información: <http://www.coloraos.com/>
2. Nombre de la escultura policromada de madera que representa a Jesucristo crucificado, de gran devoción por los fieles católicos de la Región de Murcia (España).

REFERENCIAS

- Ackerman, J. M., Nocera, C. C., & Bargh, J. A. (2010). Incidental haptic sensations influence social judgments and decisions. *Science*, 328(5986), 1712–1715.
- Addis, M. (2002). Nuove tecnologie e consumo di prodotti artistici e culturali: verso l'edutainment. *Micro & Macro Marketing*, 1, 33–60.
- Ballantyne, R., & Uzzell, D. (2011). Looking back and looking forward: The rise of the visitor-centered museum. *Curator: the Museum Journal*, 54(1), 85–92.
- Ballarin, M., Balletti, C., & Vernier, P. (2018). Replicas in cultural heritage: 3D printing and the museum experience, in ISPRS – international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial. *Information Sciences*, XLII-2, 55–62.
- Barassi, S. (2010). The sculptor is a Blind man: Constantin Brancusi's Sculpture for the Blind. In P. Dent (Ed.), *Sculpture and Touch*, 2014. Ashgate.
- Benjamin, W. (1955). *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*. Einaudi.
- Bonacini, E. (2011). *Nuove tecnologie per la fruizione e valorizzazione del patrimonio culturale*. Aracne.
- Candlin, F. (2003). Blindness, art and exclusion in museums and galleries. *The International Journal of Art and Design*, 22(1), 100–110.
- Candlin, F. (2004). Don't touch! Hands off! Art, blindness and the conservation of expertise. *Body and Society*, 10, 71–90.

- Candlin, F. (2006). The dubious inheritance of touch: Art history and museum access. *Journal of Visual Culture*, 5(2), 137–154.
- Chatterjee, H. J., Vreeland, S., & Noble, G. (2009). Museopathy: Exploring the healing potential of handling museum objects. *Museum and Society*, 7, 164–177.
- Clintberg, M. (2014). Where publics may touch: Stimulating sensory access at the national gallery of Canada. *The Senses and Society*, 9, 310–322.
- Cruz, P. A. (2021). Museo Cristo de La Sangre: un referente cultural de la Región de Murcia. Los Coloraos, 104–105.
- D'Agnano, F., Balletti, C., Guerra, F., & Vernier, P. (2015). Tooteko: A case study of augmented reality for AN accessible cultural heritage. Digitization, 3d printing and sensors for AN audio-tactile experience. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, 207–213.
- Davidson, B., Heald, C. L., & Hein, G. E. (1999). Increase exhibit accessibility through multisensory interaction. In E. Hooper-Greenhill (Ed.), *The educational role of the museum* (pp. 223–238). Routledge.
- De Coster, K., & Loots, G. (2004). Somewhere in between touch and vision. In search of a meaningful art education for blind individuals. *International Journal of Art and Design Education*, 23, 326–334.
- De Luca, M. (2007). Comunicazione ed educazione museale. In F. Severino (Ed.), *Comunicare la cultura* (pp. 97–106). FrancoAngeli.
- Di Guseppantonio Di Franco, P., Camporesi, C., Galeazzi, F., & Kallmann, M. (2015). 3D printing and immersive visualization for improved perception of ancient artifacts. *Presence*, 24(3), 243–264.
- Dood, J., & Sandell, R. (1998). *Building bridges: Guidance for museums and galleries to develop new audiences*. Museums and Galleries Commission.
- Dudley, S. H. (2010). Museum Materialities: Objects, Sense and Feeling. In S. H. Dudley (Ed.), *Museums materialities: Objects, engagements, interpretation* (pp. 1–15). Routledge.
- Dudley, S. H. (2012). *Museum objects: Experiencing the properties of things*. Routledge.
- Dudley, S. H. (2015). What, or where is the (Museum) object?: Colonial encounters in displayed worlds of things. In W. K. Message (Ed.), *The international handbook of museum studies: museumtheory* (pp. 41–62). John Wiley & Sons.
- Eardley, A., Mineiro, C., Neves, J., & Ride, P. (2016). Redefining access: embracing multimodality, memorability and shared experience in museums. *Curator: the Museum Journal*, 59, 263–286.
- Gallace, A., & Spence, C. (2010). The science of interpersonal touch: An overview. *Neuroscience and Neurobehavioral Reviews*, 34, 246–259.
- Gibson, I., Stucker, B., & Rosen, D. (2015). *Additive manufacturing technologies*. Springer-Verlag.
- Götzelmann, T. (2017). 3D-Druck für blinde Menschen: Vom statischen Druck zu interaktiven Objekten. *Informatik Spektrum*, 40(6), 511–515.
- Goulding, C. (2000). The museum environment and the visitor experience. *European Journal of Marketing*, 34, 261–278.
- Hetherington, K. (2000). Museums and the visually impaired: The spatial politics of access. *The Sociological Review*, 2(48), 444–463.
- Hetherington, K. (2003). Accountability and disposal: Visual impairment and the museum. *Museum and Society*, 1, 104–115.
- Hoyt, B. O. (2013). Emphasizing observation in a gallery program for blind and low-vision visitors: Art beyond sight at the museum of fine arts, Houston. *Disability Studies Quarterly*, 33, 3.
- Jafri, R., & Ali, S. (2015). Utilizing 3D Printing to Assist the Blind. In *International Conference on Health Informatics and Medical Systems (HIMS'15)*. Las Vegas, Nevada.
- Jansson-Boyd, C. V., & Marlow, N. (2007). Not only in the eye of the beholder: Tactile information can affect aesthetic evaluation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 1, 170–173.

- Krantz, G. (2013). Leveling the participatory field: The mind's eye program at the guggenheim museum. *Disability Studies Quarterly*, 33, 3.
- Lillard, A. S., & Else-Quest, N. M. (2006). An Evaluation of Montessori Education. *Science*, 313, 1893–1894.
- Melendreras, R., Marín, T., & Sánchez, P. (2020). Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel. *E-rph*, 27, 52–83. <https://doi.org/10.30827/e-rph.v0i27.17901>
- Melendreras Ruíz, R., Marín Torres, M. T., & Sánchez Allegue, P. (2022). Comparative analysis between the main 3D scanning techniques: Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in religious imagery: The case of the Crist of the Blood. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(1), article no.18, 1–23. <https://doi.org/10.1145/3469126>
- Melendreras Ruíz, R., Marín Torres, M. T., Sánchez Allegue, P., & Martínez Reyes, J. (2022). The sculpture of the Christ of the Blood: Structural mechanical analysis based on 3D models and video techniques for the study of recurrent pathologies. *Journal of Cultural Heritage*, 54, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.001>
- Montessori, M. (2013). *The Montessori Method*. Transaction Publishers.
- Navarro, I., & Fonseca, D. (2012). Architecture degree project: Use of 3D technology, models and augmented reality experience with visually impaired users. *Systemics, Cybernetics and Informatics*, 10(2), 57–62.
- Neumüller, M., & Reichinger, A. (2013). From stereoscopy to tactile photography. *Photoresearcher*, 19, 59–63.
- Neumüller, M., Reichinger, A., Rist, F., & Kern, C. (2014). 3D printing for cultural heritage: Preservation. In M. Ioannides, & E. Quak (Eds.), *Accessibility, research and education, in 3D research challenges in cultural heritage* (pp. 119–134). Springer.
- Rappolt, G., & Daley, S. G. (2013). Providing Access to Engagement in Learning: The Potential of Universal Design for Learning in Museum Design. *Curator: the Museum Journal*, 56(3), 307–321.
- Reichinger, A., Garcia, H., & Travnicek, C. (2018). Designing an interactive tactile relief of the meissen table fountain. In *International Conference on Computers helping people with special needs* (pp. 209–216). Springer.
- Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104–1138.
- Rovidotti, T. (2004). Multisensorialità come chiave di accesso al museo per persone con limitazione visiva. *Tiflogia per L'integrazione*, 11(4), 24–27.
- Scopigno, R., Cignoni, P., Pietroni, N., Callieri, M., & Dellepiane, M. (2014). Digital fabrication technologies for cultural heritage (STAR). In R. Klein, & P. Santos (Eds.), *Eurographic workshop on graphics and cultural heritage*. (pp. 6–21). Eurographic Association.
- Scopigno, R., Cignoni, P., Pietroni, N., Callieri, M., & Dellepiane, M. (2017). Digital fabrication techniques for cultural heritage: A survey. *Computer Graphics Forum*, 36, 6–21.
- Solima, L. (2012). *Il museo in ascolto. Nuove strategie di comunicazione per I musei statali*. Rubbettino.
- Solima, L. (2014). Digital resources and approaches adopted by user-centred museums: The growing impact of the. In L. Aiello (Ed.), *Handbook of research on management of cultural products: E-relationship marketing and accessibility perspectives* (pp. 181–189). Hershey: IGI-Global.
- Solima, L., & Tani, M. (2016). Do not Touch! How 3D Printing can open the way to an accessible museum! In *XXVIII Sinergie Annual Conference: Management in a Digital World. Decisions, Production, Communication*. Udine: University of Udine. https://www.researchgate.net/publication/312604338_Do_Not_Touch_How_3d_Printing_can_open_the_way_to_an_accessible_museum/citations
- Spence, C. (2010). Multimodal interactions: Visual-haptic. In E. B. Goldstein (Ed.), *Encyclopedia of perception* (pp. 597–599). Sage.
- Spence, C., & Gallace, A. (2008). Making sense of touch. In H. Chatterjee (Ed.), *Touch in museums: Policy and practice in object handling* (pp. 21–40). Berg.
- Tacha, A. C. (1963). Brancusi: Legend, reality and impact. *Art Journal*, 22, 240–241.

- Vermeersch, P. W., Schijlen, J., & Heylighen, A. (2018). Designing from disability experience: space for multi-sensoriality. In *Proceedings of the Participatory Design Conference, Hasselt & Genk, Belgium, 20–24 August*.
- Vescovo, F. (2002). Accessibilità. *Paesaggio Urbano* 1, 9–11.
- Walters, D. (2009). Approaches in museums towards disability in the United Kingdom and the United States. *Museum Management and Curatorship*, 24(1), 29–46.
- Wang, S. (2020). Museum as a sensory space: A discussion of communication effect of multi-senses in Taizhou Museum. *Sustainability*, 12(7), 3061.
- Williams, T. R. (1966). Cultural structuring of tactile experience in a borneo society. *American Anthropologist*, 68, 27–39.
- Wilson, P., Griffiths, S., Williams, E., Smith, M. P., & Williams, M. A. (2020). Designing 3-d prints for blind and partially sighted audiences in museums: Exploring the needs of those living with sight loss. *Visitor Studies*, 23, 120–140. <https://doi.org/10.1080/10645578.2020.1776562>
- Wilson, P. F., Stott, J., Warnett, J. M., Attridge, A., Smith, M. P., & Williams, M. A. (2018). Museum visitor preference for the physical properties of 3D printed replicas. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 175–185.
- Wilson, P., Stott, J., Warnett, J., Attridge, A., Smith, M., & Williams, M. (2018). Evaluation of touchable 3D-printed replicas in museums. *Curator: the Museum Journal*, 60, 8.

ARTICLE

Development of a Touchable Replica for Inclusive Experiences of Religious Artifacts

Rafael MELENDRERAS RUIZ , María Teresa MARÍN TORRES , AND Paloma SÁNCHEZ ALLEGUE 

Correspondence

Paloma Sánchez ALLEGUE,
Universidad Católica San Antonio de
Murcia (UCAM), Murcia,
Spain.
Email: psanchez116@alu.ucam.edu

Abstract The main objective of this article is to introduce a first inclusive experience in a conventional museum that so far only exhibits religious sculptures and its evaluation by blind and partially sighted persons. For this reason, it was decided to develop a multisensory experience aimed at blind and partially sighted people, taking advantage of the potential of new 3D scanning and printing technologies. The experience is centered on a touchable replica of the bust of the *Cristo de la Sangre*, a masterpiece of the Baroque highly revered in Murcia. The complete process of the development of the replica is shown, from design and manufacturing, both combining technology and tradition. Apart from touch sense, the experience incorporates detailed audio descriptions and smells, to provide valuable extra information. Also, radio mobile technologies such as beacons, are used for guiding purposes. Blind and partially sighted people play an active role in this project, both in the design and validation of the experiences.

INTRODUCTION

Traditionally, museums have been primarily visual spaces (Candlin, 2003; Wilson et al. 2018a, 2018b). However, the development of digitization techniques and 3D printers have allowed the possibility of creating different products and models of objects, from small-scale reproductions, molds and pieces for restoration, to the development of life-size replicas in their museums, giving the possibility of interacting with them, something unthinkable to do with original works. These 3D replicas, together with applications for portable devices (mobile phones, tablets, etc.) games and avatars in sign

Rafael MELENDRERAS RUIZ (rmelendreras@ucam.edu) is a Doctor of Telecommunication and Vice Dean of the Degree in Telecommunication Engineering at UCAM. Teacher of telecommunications systems and research in Technological Innovation applied to Sport, Health Sciences and Heritage.

María Teresa MARÍN TORRES (mtmarin@um.es) is Professor of the Department of Art History at the University of Murcia and director of the Salzillo Museum. Her teaching, research and publications have focused on Museology, Heritage and Baroque Art.

Paloma SÁNCHEZ ALLEGUE (psanchez116@alu.ucam.edu) is a doctoral student at UCAM, BIM Modeler and Digital Transformation Technician. She is a Building Engineer specialized in 3D digitization using different scan laser technologies and photogrammetry to obtain high quality 3D models.

Curator: The Museum Journal 2022, 65.2 305-331 DOI: 10.1111/cura.12469

language are some of the technologies that museums are incorporating into their current exhibitions (Solima & Tani, 2016).

These technologies, together with new interactive and sensory media, are increasingly being used to attract and reach new audiences such as people with some type of disability (Candlin, 2006). Without a doubt, being the group that most benefited from the introduction and search for new ways of interacting with heritage.

People with visual and/or hearing disabilities have participated in this research to show that different needs and requirements arise for different capacities. Moreover, museums, hand in hand with new technologies, can respond to those needs, as is shown in this paper. With the utilization of tools that have been designed to make heritage more accessible, including apps with information, audio-descriptions, multisensory resources, mainly tactile and olfactory, such as tactile reliefs and the use of aromas (Jafri & Ali, 2015).

ACCESSIBILITY EXPERIENCES IN MUSEUMS

Regarding accessibility in museums, pioneer experiences such as Walter Benjamin's Seminal Work highlighted that the use of replicas and touchable reproductions are a solution to improve the visitor experience without jeopardizing the museum's endowment (Benjamin, 1955; Solima & Tani, 2016).

On the other hand, technological innovation in these institutions, in addition to providing a response to face the demand for more advanced and complex services by users (Addis, 2002), is a consequence of the growing competition for the attention of visitors (Bonacini, 2011) and one of the four fundamental dimensions of accessibility, the digital one, identified by Solima in 2014.

The ocular-centricity and paradigms such as that of the "glass box" (Candlin, 2003; Dudley, 2010, 2012, 2015; Wilson et al. 2018a, 2018b) are clear exponents of the generalized tendency on the part of museums and exhibitions to focus the experience of the visitors in the sense of sight and in the overprotection of the works, relegating the accessibility on the part of the blind and partially sighted to a second plane. The cost-impact conflict in many cases justifies this *modus operandi* by limiting museums to exclusively fulfill their social function (Eardley et al. 2016; Walters, 2009). Nothing is further from the current museum conception enunciated by Wang, who attributes a greater commitment to the connection and complex interaction with the senses and experience, and adds to the educational function, that of a social hub, a center of contemplation and even healing (Wang, 2020).

The problem of museum accessibility, as well as the analysis of the main barriers -physical, cognitive and informational- has been widely studied (Addis, 2002; De Luca, 2007; Rappolt & Daley, 2013; Rovidotti, 2004; Solima, 2012; Vescovo, 2002; Walters, 2009). While some authors point out the relevance of betting on visitor-centered approaches, while giving them an active role in their

design (Ballantyne & Uzzell, 2011; Eardley et al. 2016; Goulding, 2000; Solima, 2014), others denounce the scarcity of research that considers their needs (Neumüller et al. 2014; Wilson et al. 2018a, 2018b).

In Eardley et al. (2016) it is justified that access to museums by the disabled is a majority issue and that the solution must consist of “access for all”, focused on multisensory stimulation, which corresponds to the reality of the world in which we operate, while enhancing and benefiting learning (Lillard & Else-Quest, 2006; Montessori, 2013). This type of access was already identified years ago by Dood and Sandell (1998). In this regard, Candlin suggests the implementation of non-visual learning routines (Candlin, 2003). From the pioneering study *The full sensory engagement – multisensory experiences* (Davidson et al. 1999), more and more people affirm the social, cognitive and even therapeutic value that the interaction with sensory objects provides, especially for people with disability (Candlin, 2004; Clintberg, 2014; De Coster & Loots, 2004; Hetherington, 2000; Vermeersch et al. 2018).

Although science has shown that the sense of vision predominates over the sense of touch, the importance of the latter is recognized by many of the cultures of the older civilizations (Williams, 1966). Touch is the sense that provides the most powerful emotional content (Gallace & Spence, 2010). Field and laboratory studies in the area of neurosciences affirm that touch can have a positive effect on our cognitive processes and on our general well-being (Ackerman et al. 2010; Jansson-Boyd & Marlow, 2007; Spence & Gallace, 2008).

Many sculptures are conceived and created by their authors to be touched, but the preservation of heritage deprives users of this experience, so the question to ask ourselves is: What do we lose by not being able to touch? (Tacha, 1963). In his works *Beginning of the World or Sculpture for the Blind*, the sculptor Constantin Brancusi tries to answer this question (Barassi, 2010). Candlin (2006) states that touch is frequently used to fill gaps/voids of vision by the blind and partially sighted. Other research points to the importance of adopting an active attitude while playing, as well as having freedom of movement, to shape a richer sensory experience, “haptic”, rather than “tactile” (Gallace & Spence, 2010). Similarly, Wilson et al. (2020) discusses that modern museum practice provides for equal access for all, but access for blind and partially sighted (BPS) audiences remains problematic given the ocular centric nature of museums.

The basis for the application of new technologies to the museum field is the digitization of the pieces, particularly the registration of their geometries and textures, relief and color respectively. Research such as those developed by Remondino (2011), Scopigno et al. (2014), Melendreras Ruíz et al. (2020) and Melendreras Ruíz, Marín Torres et al. (2022), Melendreras Ruíz et al. (2022) focus on identifying the optimal workflow and techniques to develop this process with the highest efficiency and quality.

The main uses of digitization include, on the one hand, the development of digital products, such as virtual tours (Ballantyne & Uzzell, 2011), 3D models (as <https://sketchfab.com/britishmuseum>) and applications (web and mobile), and on the other, physical or material, such as

the reproduction of scale replicas, the manufacture of souvenirs, etc. (see table 1 in Solima & Tani, 2016).

As far as the reproduction of replicas is concerned, 3D printing, unlike other methods based on subtractive manufacturing techniques or the creation of molds, in addition to being less expensive and invasive, “is simpler, less complex, requires less time (rapid prototyping) and, despite the need for editing and post-processing work, this provides great flexibility and adaptation in the final design of the object to be reproduced (shape, quality, etc.)” (Scopigno et al. 2014, 2017).

The applications of 3D printing for the collective of the blind and partially sighted people are very numerous, highlighting those aimed at facilitating orientation (tactile maps), deciphering the content of digital and printed images (reliefs of web graphics, photos, and paintings), tactile exploration of remote, inaccessible, or large/small objects and those intended for education (Jafri & Ali, 2015), as well as others that are briefly described below.

First proposals for the manufacture of 3D touchable replicas in museums, aimed at the blind and partially sighted, are based on stereoscopy by Neumüller, who in turn demands further research in the identification of methodologies and workflows for the use of the (Neumüller & Reichinger, 2013). On the other hand, more recent research by Götzelmann (2017), in which they use the potential of printing technologies to create interactive prints, provides an overview of essential approaches for the creation of various tactile materials using 3D printers.

In the research of Reichinger et al. (2018) the development of a 2.5 D relief from a 3D scan is performed, which in addition, is used with their gesture-based interactive audio guide. In that research is presented a mixed perspective view projection technique and is developed a depth compression technique that preserves details to flatten less important parts. Similarly, D’Agnano et al. (2015) creates a smart ring that allows one to navigate any 3D surface with the fingertips and in return obtain audio content that is relevant to the part of the surface that is currently being touched.

Following this, Ballarin et al. (2018), focuses on the technical validation of 3D replicas in terms of precision and metric accuracy, both for display, cataloging and study. In this way, it analyzes the

Table 1.
Structured light scanner specifications

| Scanner type | Artec Eva | Artec spider |
|--|------------------------|-----------------------|
| 3D point accuracy, up to | 0.1 mm | 0.05 mm |
| 3D resolution, up to | 0.2 mm | 0.1 mm |
| Volume capture zone | 61,000 cm ³ | 2,000 cm ³ |
| Linear field of view, Height × Width. Closest range | 214 × 148 mm | 90 × 70 mm |
| Linear field of view, Height × Width. Farthest range | 536 × 371 mm | 180 × 140 mm |
| Texture resolution | 1.3 mp | 1.3 mp |
| Colors | 24 bbp | 24 bbp |

metric characteristics of the printed model in relation to the original data and optimizes the process from the survey to the physical representation of the object. Whereas Navarro and Fonseca (2012) through the use of 3D models with augmented reality or that of Di Giuseppantonio Di Franco (2015) who proposes the creation of multisensory 3D replicas.

An important aspect highlighted by Candlin (2003) is the importance that the physical properties of objects have for the blind and partially sighted, and more specifically the choice of the most appropriate material so that visual perception and tactile sensation are correlated (Spence & Gallace, 2008). Of special interest are the studies conducted by Wilson, focused on the evaluation of user preference on the physical properties of touchable 3D replica prints (Wilson et al. 2018a, 2018b). In their conclusions they highlight those replicas made of resin are the favorite 3D prints of users. The verisimilitude, understood as the realism, degree of detail, visual and tactile resolution with respect to the original, is the dominant factor in its preference, ahead of quality and robustness. The most reliable scales associated with this factor are good/bad quality, clarity/confusion, realistic/unrealistic, detailed/not detailed, boring/interesting. Parallel to this study, other experiences show the high level of satisfaction of the participating subjects after experimenting with playable replicas, even preferring interaction with them than observing the originals (Hoyt, 2013; Kantz, 2013).

Regarding the implementation of practical experiences with 3D printed touchable replicas, some authors warn of a risk associated with the manipulation of objects -hazard, dirt, order, etc.- (Hetherington, 2000, 2003; Spence & Gallace, 2008) by groups of the blind and partially sighted. Only the eradication of these parameters guarantees an effective start-up of exhibitions of this nature (Solima & Tani, 2016).

Finally, the experiences centered on the exhibition of touchable replicas of museum objects from the outside are of great interest, as an extension of the museum to the outside. Its exhibition to sick people in hospitals, prolonging its educational function and even highlighting the healer (reminiscence), for both generating a positive impact on the well-being of the patient (Chatterjee et al. 2009).

This is the current state of BPS research with 3D printing in cultural heritage. Here we have made a brief summary of the most important or most relevant research for us, on which we have based ourselves to carry out our research and project in this field.

LOCATION: MUSEUM CRISTO DE LA SANGRE (SPAIN)

The museum object of this study is owned by the *Archicofradía de la Sangre*¹, the oldest penitential brotherhood in the city of Murcia (Spain), created in 1411. Among its collections, it mainly houses polychrome wood sculptures dating from the seventeenth to the twenty-first centuries.

Nicolás de Bussy is the author of the *Cristo de la Sangre*², which dates from 1693, a unique sculpture of its kind, full of symbolism, as it represents the crucified Jesus stepping on the grape of the mystical winepress, while an angel collects the blood in a chalice that sprouts from its side, and that is the object of study of this article. It is a work of art with great religious devotion in the city but it is degraded by its annual procession every Easter. Hence, the Brotherhood decided to digitize this landmark piece for the historical heritage of the city, to protect and preserve it for the future, but also for a greater cultural and even devotional diffusion.

The museum institution was founded in 1994 in the Archpriest church of Nuestra Señora del Carmen de Murcia. Since December 2018, the museum has been located next to the church, in the premises of an old school. Especially noteworthy is its installation or museography with the sculptures in the same plane as the visitors, without pedestals, in dark rooms with strong lighting that enhances their dramatic sense.

In its mission to have a greater social projection and to be a main asset of the cultural fabric of the Region of Murcia (Cruz, 2021: 104), it is worth highlighting the digitization of part of its collections and the creation of a virtual visit (<https://museo.museocristodelasangre.com>) that allows a better knowledge of its funds. The touchable replica of the *Cristo de la Sangre* bust, as can be seen in Figure 1, is present in the museum now and has been installed in the middle of the tour, integrated into the discourse, and in the chronological place where the original piece, that is set in its own chapel in the church, would be placed. The replica is accessible to all audiences, especially for blind and partially sighted people, thanks to the experience we have developed. We hope in the future that the digitization of the collections and the creation of the tactile replica of the bust will convince the *Archicofradía de la Sangre* of the need to continue making tactile replicas of other sculptures in the collection.

METHODOLOGY, DESIGN AND MANUFACTURE

The methodology followed in this article, which is described below, includes four distinct phases:

In the first phase, the background of said study is presented based on a 3D digitization previously carried out and described in the publications cited in its section. Also, the choice of this sculpture for the study is analyzed due to its relevance in the locality and the previous considerations regarding the choice of the design and production of the experience.

In a second phase, the manufacturing process of the replica is developed, describing the aspects to be taken into account for the 3D printing, the realization of the polychrome of the piece, the added elements elaborated and the design of the piece of furniture exhibiting the piece.

In the third phase, the multimedia experience is developed, the technology used, the multimedia content incorporated and its description.



Figure 1. Original sculpture (left) and replica-bust (right) in the Museo Cristo de La Sangre. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

And in the fourth and last phase, the test with the participants and the survey is developed.

PHASE 1: BACKGROUND

The Digitization 3D

In previous researches, the *Cristo de la Sangre* was digitized using several different digitization techniques: photogrammetry, laser scanner and structured light scanner, obtaining very positive result, like are described in Melendreras Ruíz et al. (2020) and Melendreras Ruíz, Marín Torres et al. (2022), Melendreras Ruíz et al. (2022). It was concluded that the combined use of medium and high resolution structured light scanners, the latter focused on the digitization of small elements such as teeth, beard, nose, etc., offered the best results in terms of precision as in terms of quality and efficiency.

Therefore, the 3D model obtained consists of a combination of data obtained from both types of scanners, specifically the Eva and Spider models from the manufacturer Artec 3D. As can be seen in the Table 1, the values regarding the precision of the Spider model reach resolutions higher than those of the Eva model, and, therefore, obtain a higher level of detail on small elements. Regarding the digitization window, the Spider's is much smaller, which takes a longer time for digitization. However, regarding the texture, they obtain similar results, since the resolution and the color sensors of their cameras are identical.

Purpose of the Replica

The tactile replica is designed so that blind and partially sighted people can “know” the sculpture of the *Cristo de la Sangre*, its bust, as well as the history and traditions of the Archicofradía of which it is the owner.

Until now, the exhibition housed in the Cristo de La Sangre Museum was not aimed at this group because the patrimony and the design of the user experience were focused on the visualization of the exhibited carvings, of great artistic value and built-in polychrome wood, which cannot be touched for conservation reasons. Therefore, this initiative represents a step forward in inclusiveness and accessibility for this museum, a paradigm shift, as well as a pioneering experience in the exhibition of religious heritage, at an international level.

In the configuration of the project, in addition to tackling a multidisciplinary approach involving technicians in digital transformation, architects, sculptors and art experts participate, its main protagonists and beneficiaries, the blind and partially sighted, have been involved from the very beginning.

Previous Considerations and design

Based on previous research in this area (Wilson et al. 2018), due to its high resolution and consistency, additive manufacturing using high-density resin is chosen as the technique for the bust reproduction.

Early collaboration with organizations for the blind and partially sighted, as in our case ONCE (National Organization of the Spanish Blind), helped to make important decisions such as the reproduction of the replica with color, due to the fact that there are people with degrees of visual impairment that can perceive it. In this sense, we were advised to opt for the use of high color contrasts in the reproduction of the work.

To achieve the desired color resolution for the replica, it was necessary to use indirect 3D printing solutions such as Polyjet or Color Jet. The high cost of these solutions made us opt for resin printing of a single tone and the application of color through a subsequent polychrome process carried out by sculpture professionals.

In section 4.1. it was mentioned that to achieve the maximum resolution of the three-dimensional model obtained for the replica, the combination of two structured light scanners of different resolution was chosen. However, because the resolution of the model is much higher than that of current 3D printers, it is necessary to perform a decimation or reduction of the quality of the model so that the printing software can import it and configure the manufacturing process correctly.

The generated three-dimensional model of the complete body of the Christ contains 10 million triangles. Subsequently, it was sectioned, leaving only the bust, resulting in a mesh of 1.5 million polygons, which was finally decimated to 160 thousand polygons, almost a tenth, to be able to be entered in the Ultimaker Cura program to plan the additive manufacturing or 3D printing.

PHASE 2: MANUFACTURING OF THE REPLICA

3D Printing of the Bust

For the realization of the bust in high resolution, it was decided to use the 3D printing technology SLA (Sterolithography), which uses a photosensitive resin that hardens the printed layers by means of ultraviolet light, due to the high resolution and geometric detail that it obtains as well as its ease of surface work for smoothing, adaptation and assembly of the final piece. (Gibson et al. 2015).

The SLA printer used is the Photocentric Hi-RES model, with a manufacturing volume of $195 \times 147 \times 230$ mm. This equipment allows resolutions from 25 to 100 μm , deciding to use the highest. The chosen resin was the Photocentric FIRM model, with a total amount used of 2.8 l. This



Figure 2. Exploded view of parts for 3d printing and sample of one of the parts. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

resin is ideal for creating objects of great hardness and with a small compression capacity under high force.

Due to the size of the bust and wanting to print it in full scale, it is necessary to prepare it for printing in several sections, one of these pieces can be seen in Figure 2, following the process as follows:

1. The three-dimensional model of the bust is divided into 12 parts of similar volumes to be printed individually on the printer; it is thus decided to be a model with a volume much higher than the maximum printing volume of the equipment.
2. Next, an internal vacuum is generated in each part, leaving an outer wall 2.5 mm thick.
3. Subsequently, support structures are made to all the pieces. It is decided to generate them on the side of the piece with less geometric detail to avoid possible imperfections caused by them as much as possible and to facilitate their elimination.
4. Next, each piece is printed.

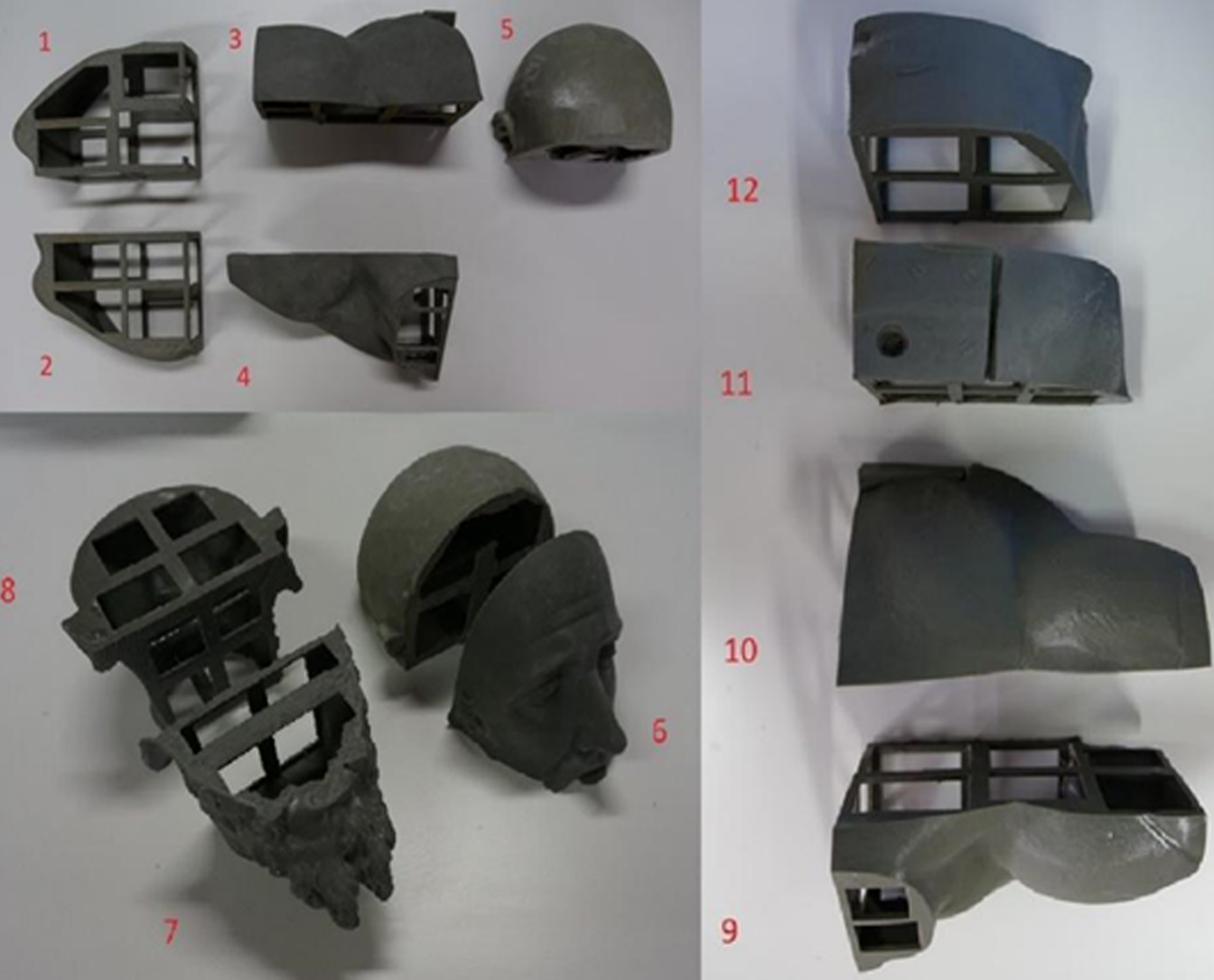


Figure 3. Printed diferents parts. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

5. Finally, immediately upon completion of your printing, the excess adhered resin is wiped off with isopropyl alcohol and allowed to cure (harden) in daylight to obtain its final mechanical properties.

Each piece printed can be seen in Figure 3, whereas the approximate printing times of each piece can be observed in Table 2.

With the pieces completely cured, the assembly and joining process of all of them is carried out, following the following works:

1. First, we proceed to the elimination of the points of union of the supports using a mini grinder with a sanding head.
2. Immediately afterwards, the joints are chamfered, approximately between 2 and 3 mm at 45° to have a subsequent resin filling surface and make a suitable joint between pieces.
3. Next, a first gluing is carried out using Cyanoacrylate to assemble all the parts of the bust.

Table 2.
Exploded view of the printed parts

| Printed part | Printing time (h) | Printed part | Printing time (h) |
|---------------|-------------------|----------------|-------------------|
| 1 – shoulder | 19 h | 7 – head front | 14 h |
| 2 – shoulder | 19 h | 8 – head chin | 14 h |
| 3 – back | 14 h | 9 – chest back | 14 h |
| 4 – chest | 14 h | 10 – back | 14 h |
| 5 – head back | 14 h | 11 – shoulder | 19 h |
| 6 – nape | 14 h | 12 – shoulder | 19 h |
| | Total | | 188 h |

- Next, with the bust already joined, proceed to fill the previously beveled joints with the same resin. For this filling, thin layers of the same resin were applied with a small brush and allowed to cure with a UV light lamp. This process was repeated successively until all the joints were completely filled.
- Subsequently, we proceed to remove excess material from the joints with a mini grinder and to go over the joints of the bust with different water-based paper sandpaper to smooth the joints and remove the marks from the printing layers of the entire model.
- Finally, the bust is internally filled with polyurethane foam to give the bust greater hardness and eliminate the possibility of breakage or deformation of the material (as can be seen in Figure 4).

Polychrome of the bust

Following the recommendations made by ONCE, prior to the polychrome of the bust, an in-depth study of the original polychrome of the Christ was carried out, making use of all the digital resources available at our disposal: high-resolution 2D photographs of the initial photogrammetric process (36,4Mpix - Camera: Sony alpha 7R Format: RAW), historical photographs from the Arch Confraternity archive, the image file of the texture of the 3D model itself and the 3D model of the bust uploaded to Sketchfab in.obj format.

The results of this study showed that the original carving of the *Cristo de la Sangre* already has a high inherent color contrast, appreciable between the pale tones of the skin and the dark tones of the hair and beard. Therefore, it was decided that the polychrome could be made in a 100% realistic way, emulating the original, reproducing even the smallest details.

The polychrome process was carried out following the steps described below: (Please see Figure 5 for details).

1. Analysis of the material and previous tests

The sculptors responsible for the polychrome had never worked on the resin material. For this reason, partial samples are provided for testing. In these initial tests, the disadvantage compared to

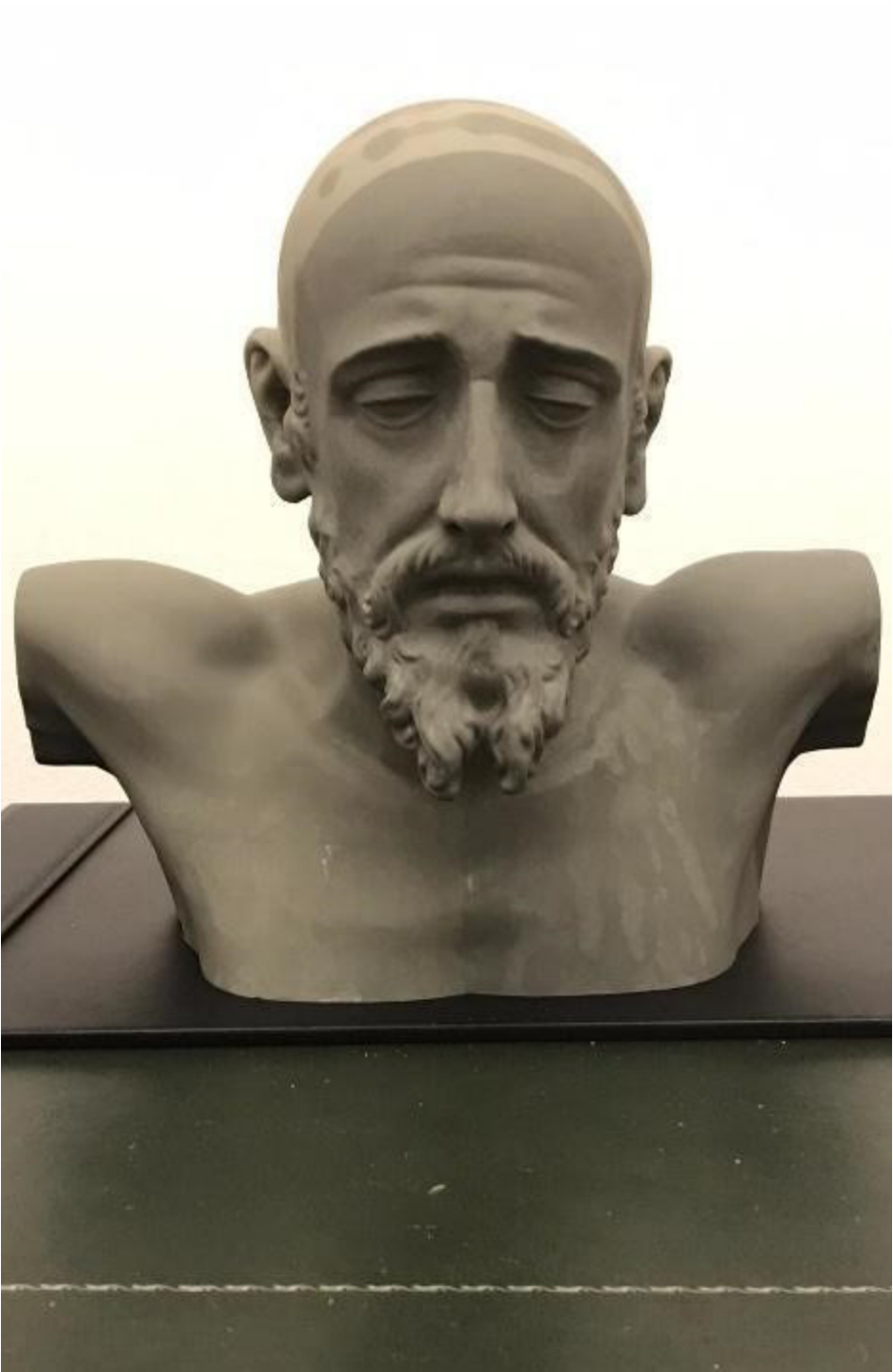


Figure 4. 3D printing after joining the pieces and filling inside of the bust. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]



Figure 5. Polychrome process. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

clay or wood, the absence of porosity, an aspect that makes it difficult for any type of paint to adhere and dry. With the different tests, it was concluded that any type of acrylic, water or oil paint, applied directly on the piece, adhered very well to the material. However, a direct application was found to be very vulnerable to scratching or rubbing off. So, it was decided to apply a gesso base prior to polychrome.

2. Polychrome techniques: preparation of the base

Gesso is a preparation mainly based on plaster and glue, widely used in the world of painting to give the first layers of primer to frames and slats as a preparatory base for later painting with oils, tempers, etc. After its preparation in the workshop, two coats of the product were applied, achieving a white finish that perfectly held onto the resin. In this way, it was achieved that the bust had a porous base, where the polychrome could adhere without problems.

3. Polychrome process

The bust was polychromed in the traditional way, using a colored base with an oil finish and final varnishes. It contains two bases of acrylic color, another two of oil color, glazes and specific nuances to imitate the passage of time and age in a current painting. Another important drawback found, as a result of the resin, was that the drying process was twice as slow between layers due to its low and slow absorption. Particular attention was paid to color contrasts. Enhancing the white of the skin, the dark of the hair or the red of the blood, as seen in the original polychrome of Christ. In addition, emphasizing areas with lack of depth such as in the mouth, or highlighting the wrinkles and cuts of the wounds on your forehead, neck, shoulders and chest. In turn, the glazing of the eyes stands out to make them look like glass and make the reproduction more vivid.

Taking into account its touchable characteristics, it was finally finished by applying a layer of varnish with a type of brushed satin to give a smooth and reliable touch to the relief, protect against dirt and facilitate cleaning of the replica at the same time.

Additional elaborations

Two additions to the replica were made such as the wig and the crown as can be seen in Figure 6.

Wig

Regarding the wig made for this bust, and taking into account its main recipients and use, four main characteristics were taken into account that differ slightly from the original Christ wig. These were:

1. The length of the hair: Being a bust and not showing the full back of the Christ, it was considered unnecessary to reach the length of the original hair that would reach the waist. Therefore, it was decided to reach a length of approximately 35 cm according to the size of the bust, and just 3 cm beyond the edge of the support base.
2. The cranial volume: it was considered that it was also not necessary to use the amount of hair that the original images that parade usually need, since being observable from a closer distance instead of on top of a throne, an exaggerated wig would be seen and unconvincing. It was decided to reduce the amount of hair with respect to the original.
3. The parting of the hair: This wig is made with the particularity of being tangible. For this reason, the hair is parted in mesh fabric with a brown background as is done today in wigs. This technique is more long-suffering and durable than the one used in the original wig, which uses white sheets of thread or cotton, as was done centuries ago.
4. The tone of the hair: The tone of the hair used for the wig is slightly darker than that of the usual wigs, thereby seeking to increase the contrast with the polychrome of the face.



Figure 6. Wig and crown made. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at [wileyonlinelibrary.com](https://onlinelibrary.wiley.com)]

The manufacture of the crown also entails some modifications with respect to the traditional process, since its spines should not puncture the user because they are touchable.

Crown

The crown was made following the 18th century Murcian technique used by the famous sculptor Francisco Salzillo (Murcia, Spain, 1707-1783). The material used is a rope, of the rope type, which is bathed with "rabbit tail" and once drained it is braided to give the desired shape with the perimeter of the head. Rabbit glue is a glue that uses animal collagen, in this case rabbit collagen, to create the base of the adhesive. In our case, the perimeter was 53 cm by 4 cm in height. With the desired shape, it is finally bathed in a liquid mixture of the same glue and plaster. The crown spines were made with poxilin, a putty that hardens when drying and allows it to be worked to round the tips, eliminating the risk of puncturing during interaction. Finally, it is decorated with a dark brown and gold cream base with touches of bitumen.

Replica furniture design

From ONCE we were informed that the interaction of objects should be done free of obstacles and at a comfortable height for the hands, more or less at the level of the belly.

In this way, it was decided to build a rectangular base 1.10 meters high with a base adjusted to the perimeter of the bust of 40 cm wide by 30 cm deep. The base, made of black lacquered wood for consistency with the existing ones in the museum itself, was left hollow and registrable, due to the fact that a counterweight was installed inside to prevent it from tipping over and a special radio-frequency transmitter (beacon) to facilitate the location of the bust by users inside the museum.

As a result of the multimedia content developed for the experience, it was decided to manufacture and attach two additional 3D tactile reliefs to the sides of the base, one of the Arch-brotherhood emblems and the other of the angel that collects the blood of Christ, both printed in plastic ABS, painted in bronze color and varnished in glossy acrylic to resist touching.

Finally, two plaques were installed on the front of the pedestal, the main one, horizontal and inscribed in Braille, that contains the title of the project and thanks to the people who have made this project possible. Below this, a methacrylate plate with the same information in plain text.

PHASE 3: MULTISENSORY EXPERIENCE

This phase is necessarily conceived as multisensory because to enjoy a complete experience, visually impaired people need both the sense of touch and other senses such as hearing and smell, the senses serving them as a vehicle to both guide interaction and illustrate with greater precision the context of the work.

Accessible Technologies

To improve accessibility, regular use wireless signaling technologies are incorporated into the experience. The initial objective is that a blind and partially sighted person can easily reach the zone where the bust is placed across the museum. To this end, it was decided to use Beepcons[®], a technology developed by the Ilunion company for ONCE, and which consists of a beacon-type radio transmitter device that uses Bluetooth Low Energy (BLE) technology. Through an app installed on their smartphones, users detect the beacon that guides them to the bust by acoustic signals. Once there, the Beepcons app itself plays a preliminary audio description of the object and then invites the user to click on a web link (<https://www.iluniontecnologiayaccesibilidad.com/beepcons>) that leads to multimedia content hosted on YouTube, specially created to guide the visitor through the multisensory experience.

Multimedia Content of the Experience

Initially, only audio content was going to be developed to blind people. But finally, and well assessed by ONCE, it was decided to design an audiovisual content, taking in account those disabled people with residual vision. A video montage was developed using the VideoPad editor in.mp4 format with Full HD quality (1920x1080) and a duration of 15 minutes. (<https://www.youtube.com/embed/9x9KjRw7qb8?v=9x9KjRw7qb8>).

The central axis of the experience is a voice-over, by the known journalist Miss Encarna Talavera, who in addition to providing precise instructions to the visitor -on how to position themselves around the pedestal, invite hand disinfection, interaction, etc.- makes three different stories, corresponding to the phases in which the experience is divided. During each story, the narration, in the foreground, is combined with images and specially chosen background music, as well as the texts, developed by a specialist, Mr. José Emilio Rubio.

In the first place, the history of the *Archicofradía de la Sangre* is narrated, followed by its main traditions and its processional parades, to last stop at the carving of the holder, the Santísimo Cristo de la Preciosísima Sangre or Cristo de La Sangre, the work of the sculptor Nicolás de Busy, and object of this study.

Description of the experience

The multisensory experience has a simple structure for the visitor to understand. Fundamentally, it consists of paying attention to multimedia content, since it contains precise instructions on how to carry it out. In its development, the times and pauses necessary to carry out various operations such as correct positioning, disinfection of hands or a reasonable time for interaction have been taken into account. To this end, it has a common structure in each of the phases into which it is divided.

The initial phase is the welcome and introduction. After this, the stories that make up the bulk of the experience begin.

The structure of the stories is also very simple and common to all:

- First, instructions are given on how to position yourself with respect to the bust base.
- Next, a narrative voice-over is played in which a large amount of historical and descriptive information about the museum and its heritage is provided.
- At the end of it, you are invited to disinfect your hands with hydroalcoholic gel.
- And after this starts a touch phase:
 1. Emblem of the brotherhood Relief: After the narration of its story.
 2. Angel Relief: After the narration of the traditions.
 3. 3D Bust: At the end of the narration of Christ.

Parallel to the narration, an additional sensory component, smell, is introduced. Smells of wax and incense are introduced in order to recreate the passage of the parades through the streets or the context of Christ in his chapel.

Finally, the last announcement is to thank the visitor for his attendance and to conclude the experience. (You can see the interaction in Figure 7). In this sense, the feedback after it is important, and a special survey is designed in Google Forms to collect the first impressions. (You can see in Figure 8).

PHASE 4: DESCRIPTION TEST AND PARTICIPANTS

Limitations

This study has been carried out under the circumstances of Covid19, therefore, the representativeness of the group is subject to such conditions. Due to state health restrictions, at that time, no more than 10 people could gather for educational or social events.

Development

The study and validation of the experience described above follows the Design Thinking[®] methodology, understanding as such, that methodology that allows users to really understand through surveys or an in-depth interview.

The choice of the chosen sample is made based on the criteria of the authors of the study, focusing on two different groups: Art experts (sculptors, restorer, art historian, museologists and educators) and the blind and partially sighted. The subjects in the first group tried to find different professional profiles within the areas of art to which we had access. In addition, due to the health restrictions imposed by the country's government, we had to look for professionals close to the geographical region to facilitate their participation. Whereas the profiles and people of this second group, were selected and chosen by the ONCE, mainly finding the profiles of congenital total blindness, total blindness caused, residual visual (partial blindness-severe visual impairment), and deafblind. As a particularity, it was also decided to carry out the same test and survey to the interpreter guide who accompanied the deafblind person, although their answers have not been entered in the results.

The group of art experts was made up of five professionals and the group of blind and partially sighted of seven. The sanitary conditions and restrictions imposed in the country due to Covid-19, recently released from isolation, were a problem in finding volunteers with visual impairments of different types who wanted to participate in the study. The survey is designed with practically the same questions for the two groups, containing a total of 29 questions for the art experts and 23 questions



Figure 7. Replica touching process by blind people and art experts. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

for the group with visual disabilities. The difference lies in the fact that some more questions are added to the group of art experts, related to the validation of the experience in the museum context and the dissemination of heritage.

The experience lasted 25 minutes, including the 15 minutes of the multimedia story and palpation periods of 5 minutes. After the experience, the survey is carried out individually in an office of the Museum. All participants gave their consent prior to the visit.

The survey is divided into three sections:

- Section 1: Corresponding the first five questions to personal issues, name, profile, background, etc.
- Section 2: Questions related to experience auditory, olfactory and touchable including the additional elaborations. (See Table 3)
- Section 3: Questions related to personal, emotional or opinion aspects in general matters.



Figure 8. Blind test and survey. Source: Own Elaboration. [Color figure can be viewed at [wileyonlinelibrary.com](https://onlinelibrary.wiley.com)]

RESULTS AND DISCUSSION

The statistical data (you can see in Table 3) shown below are based on the questions in Section 2 of the survey process, as described above, through which we intend to collect the users' evaluation of the tactile, olfactory and auditory experience.

Due to the small sample size of the study participants and with the intention of providing a reliable estimate that can be extended to the whole population, it was decided to analyze the results using the Student's t distribution with a 95% confidence interval. Nevertheless, the resulting average values shown in Figures 9 and 10 should be interpreted with caution.

The graphs (Figure 9) show that the blind and partially sighted have been more critical in the evaluation of the totality of the experiences. While, the group of art experts evaluated the experiences positively and uniformly.

Table 3.
Results of Test – Section 2

| Questions | Sample | Average | Maximum | Minimum |
|--|-------------------|---------|---------|---------|
| Q1. Qualification of the geometric detail of the object | Partially sighted | 8.57 | 9.30 | 7.84 |
| | Art Experts | 9.60 | 10 | 8.92 |
| Q2. Qualification of the robustness object | Partially sighted | 9.29 | 9.98 | 8.59 |
| | Art Experts | 9.00 | 9.88 | 8.12 |
| Q3. Qualification of the surface quality of the object | Partially sighted | 8.71 | 9.87 | 7.55 |
| | Art Experts | 9.80 | 10 | 9.24 |
| Q4. Qualification of the wig | Partially sighted | 9.71 | 10 | 9.02 |
| | Art Experts | 9.8 | 10 | 9.24 |
| Q5. Qualification of the crown | Partially sighted | 9.43 | 10 | 8.7 |
| | Art Experts | 9.60 | 10 | 8.92 |
| Q6. Qualification of olfactory experience | Partially sighted | 6.43 | 9.20 | 3.66 |
| | Art Experts | 9.20 | 10 | 8.16 |
| Q7. Qualification of the auditive experience | Partially sighted | 7.86 | 9.10 | 6.61 |
| | Art Experts | 9.20 | 10 | 8.16 |
| Q8. Qualification of the touchable experience | Partially sighted | 8.43 | 9.48 | 7.38 |
| | Art Experts | 9.6 | 10 | 8.92 |
| Q9. Qualification of the degree of accessibility of the experience | Partially sighted | 7.86 | 9.66 | 6.05 |
| | Art Experts | 9.2 | 10 | 7.58 |

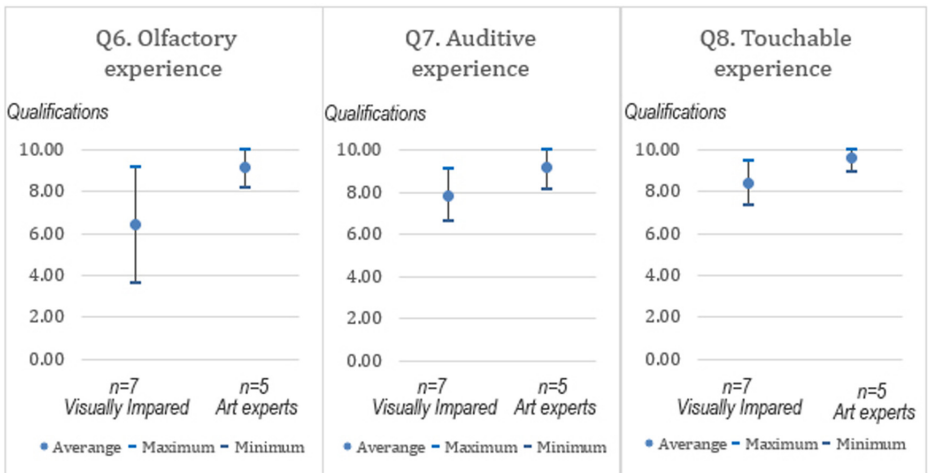


Figure 9. Results of questions 6, 7 and 8. Source: Own Elaboration.

In turn, the olfactory experience is the one that generates the greatest discrepancy on the part of the blind and partially sighted, showing the widest confidence interval and the lowest average evaluation. On the other hand, the auditory experience also shows a high valuation by both groups, although without reaching those obtained in the tactile experience. On the other hand, the tactile experience reveals the lowest confidence intervals, possibly influenced by the ratings given to the

robustness (Q2) and the elaborated additions (Q4 and Q5) of the replica, as shown in the following graphs (Figure 10):

As for the results obtained in Section 3 of the survey, designed with open-ended questions, they have allowed us to gather valuable feedback about the experience, oriented both to its optimization and to the development of future experiences in the museum environment.

A summary of the most relevant contributions is as follows:

1. Possibility of creating scale replicas of the entire object and another in detail, for example, the bust.
2. Improve the lighting in the room. People with partial blindness need more indirect lighting (elimination of dark areas).
3. Rearrange the order of the experience. They prefer to attend to the full audio description first and then focus on the tactile experience.
4. Improve signage and guidance in the museum by installing podo-tactile markings on the ground.
5. Increase the height of the pedestal, raising it by approximately 20 cm.
6. Provide even more realism to the polychrome. E.g., give volume to the painting of the drops of blood.
7. Add more smells.
8. Add more music to the multimedia audio description.
9. Add more touchable elements to the experience, such as textiles and other memorabilia.
10. To make a global and detailed description of the museum environment where the experience is located.

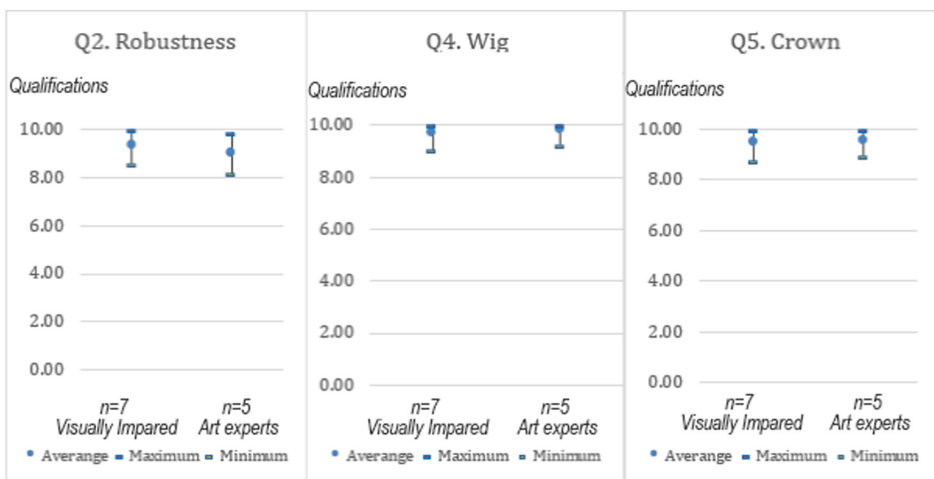


Figure 10. Results of questions 2, 4 and 5. Source: Own Elaboration.

CONCLUSIONS

A first inclusive multi-sensory experience aimed at blind and partially sighted people has been successfully developed in a traditional Easter museum, taking advantage of the potential of new 3D scanning and printing technologies.

The innovative manufacturing process of the replica based on 3D printing provides significant knowledge and skills "in sculpture" by perfecting the technique of polychrome on resin, how it concludes Wilson et al. (2018a, 2018b) in the study about physical properties of 3D printed replicas.

Digital tools enhance learning and bring heritage closer to those who otherwise would not have access to it. In addition, they allow customizing the design of the user experience and personalizing content. In this sense, accessible mobile applications and multimedia content are very powerful tools to guide the blind and partially sighted people of what they are going to experience. As also concluded by D'Agnano et al. (2015), Di Franco et al. (2015), and Wang (2020). in their studies introducing the application of new technologies with an inclusive purpose.

Regarding validation, a larger sample of people in the validation process would have been desirable, but due to health protocols (COVID-19) it was impossible to convene a larger number, giving priority to their profile and representativeness. The group of blind and partially sighted people evaluates more rigorously the sensory experience than the art experts. They value very positively the tactile quality of the manufactured replica, both for its definition and materials, as for integrating different textures (hair, face and crown). On the other hand, art experts highly value the possibility of touching the replica because, in addition to providing them with an unprecedented experience, it gives them a better understanding of the work and its details.

The introduction of aromas (incense and wax) is also highly valued by this group. On the other hand, the group of experts in art and education accredits both the rigor of the technical execution of the replica and its validity for the general public.

The joint work with organizations for the blind has been decisive along the project, both for designing the experience, for validating it and for taking feedback to improve it in the future.

Among the considerations to take into account for future projects, we highlight the connection of this and future experiences with the museum, the implementation of the improvements suggested by the majority of the blind and partially sighted volunteers and the introduction of new inclusive technologies, such as the guiding system Navilens[®].

Tactile experiences are best valued by blind and low vision visitors, but benefit all visitors if they are available, because tactile learning is also valued by anyone who has the ability to feel through touch.

END

NOTES

1. Name of the very old catholic brotherhood founded at the end of the Middle Ages in Murcia, owner of the heritage mentioned in this article and of the Museum where the experience takes place. For more information: <http://www.coloraos.com/>
2. Name of the polychrome wooden sculpture that represents the crucified Jesus Christ of great devotion by the Catholic faithful of the Region of Murcia (Spain).

REFERENCES

- Ackerman, J. M., Nocera, C. C., & Bargh, J. A. (2010). Incidental haptic sensations influence social judgments and decisions. *Science*, 328(5986), 1712–1715.
- Addis, M. (2002). Nuove tecnologie e consumo di prodotti artistici e culturali: Verso l'edutainment. *Micro & Macro Marketing*, 1, 33–60.
- Ballantyne, R., & Uzzell, D. (2011). Looking back and looking forward: The rise of the visitor-centered museum. *Curator: The Museum Journal*, 54, 1, 85–92.
- Ballarin, M., Balletti, C., & Vernier, P. (2018). Replicas in cultural heritage: 3d printing and the museum experience. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2, 55–62.
- Barassi, S. (2010). *The sculptor is a Blind man: Constantin Brancusi's Sculpture for the Blind. Sculpture and Touch*, edited by Peter Dent. 2014. Ashgate.
- Benjamin, W. (1955). *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*. Einaudi.
- Bonacini, E. (2011). *Nuove tecnologie per la fruizione e valorizzazione del patrimonio culturale*. Aracne.
- Candlin, F. (2003). Blindness, Art and Exclusion in Museums and Galleries. *The International Journal of Art and Design*, 22(1), 100–110.
- (2004). Don't touch! Hands off! Art, blindness and the conservation of expertise. *Body and Society*, 10, 71–90.
- (2006). The dubious inheritance of touch: Art history and museum access. *Journal of Visual Culture*, 5(2), 137–154.
- Chatterjee, H. J., Vreeland, S., & Noble, G. (2009). Museopathy: Exploring the healing potential of handling museum objects. *Museum and Society*, 7, 164–177.
- Clintberg, M. (2014). Where publics may touch: Stimulating sensory access at the national gallery of canada. *The Senses and Society*, 9, 310–322.
- Cruz, P. A. (2021). Museo Cristo de La Sangre: un referente cultural de la Región de Murcia. *Los Coloraos*, 104–105.
- D'Agnano, F., Balletti, C., Guerra, F., & Vernier, P. (2015). Tooteko: A case study of augmented reality for AN accessible cultural heritage. Digitization, 3d printing and sensors for AN audio-tactile experience. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, 207–213.
- Davidson, B., Heald, C. L., & Hein, G. E. (1999). Increase exhibit accessibility through multisensory interaction. In E. Hooper-Greenhill (Ed.), *The educational role of the museum* (pp. 223–238). Routledge.
- De Coster, K., & Loots, G. (2004). Somewhere in between touch and vision. In search of a meaningful art education for blind individuals. *International Journal of Art and Design Education*, 23, 326–334.
- De Luca, M. (2007). Comunicazione ed educazione museale. *Comunicare la cultura* (pp. 97–106). Milano: Franco.
- Di Franco, P. D. G., Camporesi, C., Galeazzi, F., & Kallmann, M. (2015). 3D Printing and Immersive Visualization for Improved Perception of Ancient Artifacts. *Presence*, 24(3), 243–264. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00229

- Dood, J., & Sandell, R. (1998). *Building bridges: Guidance for museums and galleries to develop new audiences*. Museums and Galleries Commission.
- Dudley, S. H. (2010). Museum materialities: Objects, sense and feeling. In S. H. Dudley (Ed.), *Museums materialities: objects, engagements, interpretation* (pp. 1–15). Routledge.
- (2012). *Museum objects: Experiencing the properties of things*. Routledge.
- (2015). What, or where is the (Museum) object?: Colonial encounters in displayed worlds of things. In W. K. Message (Ed.), *The international handbook of museum studies: Museum Theory* (pp. 41–62). John Wiley & Sons.
- Eardley, A., Mineiro, C., Neves, J., & Ride, P. (2016). Redefining access: Embracing multimodality, memorability and shared experience in museums. *Curator: The Museum Journal*, 59, 263–286.
- Gallace, A., & Spence, C. (2010). The science of interpersonal touch: An overview. *Neuroscience and Neurobehavioral Reviews*, 34, 246–259.
- Gibson, I., Stucker, B., & Rosen, D. (2015). *Additive manufacturing technologies*. Springer-Verlag NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- Götzelmann, T. (2017). 3D-Druck für blinde Menschen: Vom statischen Druck zu interaktiven Objekten. *Informatik Spektrum*, 40(6), 511–515. <https://doi.org/10.1007/s00287-017-1068-8>
- Goulding, C. (2000). The museum environment and the visitor experience. *European Journal of Marketing*, 34, 261–278.
- Hetherington, K. (2000). Museums and the visually impaired: The spatial politics of access. *The Sociological Review*, 2(48), 444–463.
- (2003). Accountability and disposal: Visual impairment and the museum. *Museum and Society*, 1, 104–115.
- Hoyt, B. O. (2013). Emphasizing observation in a gallery program for blind and low-vision visitors: Art beyond sight at the museum of fine arts, Houston. *Disability Studies Quarterly*, 33, 3.
- Jafri, R., & Ali, S. (2015). Utilizing 3D Printing to Assist the Blind. In *International Conference on Health Informatics and Medical Systems (HIMS'15)*. Las Vegas, Nevada.
- Jansson-Boyd, C. V., & Marlow, N. (2007). Not only in the eye of the beholder: Tactile information can affect aesthetic evaluation. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 1, 170–173.
- Krantz, G. (2013). Leveling the participatory field: The mind's eye program at the guggenheim museum. *Disability Studies Quarterly*, 33, 3.
- Lillard, A. S., & Else-Quest, N. M. (2006). An evaluation of Montessori education. *Science*, 313, 1893–1894.
- Melendreras Ruíz, R., Marín Torres, M. T., & Sánchez Allegue, P. (2020). Flujo de trabajo para la digitalización 3D mediante fotogrametría de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel. *E-rph*, 27, 52–83. <https://doi.org/10.30827/e-rph.v0i27.17901>
- (2022). Comparative analysis between the main 3D scanning techniques: Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in religious imagery: The case of the Crist of the Blood. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(1), article n.18, 1–23. <https://doi.org/10.1145/3469126>.
- Melendreras Ruíz, R., Marín Torres, M. T., Sánchez Allegue, P., & Martínez Reyes, J. (2022). The sculpture of the Christ of the Blood: Structural mechanical analysis based on 3D models and video techniques for the study of recurrent pathologies. *Journal of Cultural Heritage*, 54, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.001>
- Montessori, M. (2013). *The Montessori method*. Transaction Publishers.
- Navarro, I., & Fonseca, D. (2012). Architecture degree project: Use of 3D technology, models and augmented reality experience with visually impaired users. *Systemics, Cybernetics and Informatics*, 10(2), 57–62.
- Neumüller, M., & Reichinger, A. (2013). From stereoscopy to tactile photography. *Photoresearcher*, 19, 59–63.
- Neumüller, M., Reichinger, A., Rist, F., & Kern, C. (2014). 3D printing for cultural heritage: Preservation, accessibility, research and education. In M. Ioannides, & E. Quak (Eds.), *3D research challenges in cultural heritage* (pp. 119–134). Springer.

- Rappolt, G., & Daley, S. G. (2013). Providing access to engagement in learning: The potential of universal design for learning in museum design. *Curator: the Museum Journal*, 56(3), 307–321.
- Reichinger, A., Garcia, H., & Travnicek, C. (2018). Designing an interactive tactile relief of the Meissen table fountain. *Computers helping people with special needs* (pp. 209–216). New York, NY: Springer.
- Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104–1138.
- Rovidotti, T. (2004). Multisensorialità come chiave di accesso al museo per persone con limitazione visiva. *Tiflogia per L'integrazione*, 11(4), 24–27.
- Scopigno, R., Cignoni, P., Pietroni, N., Callieri, M., & Dellepiane, M. (2014). Digital fabrication technologies for cultural heritage (STAR). In R. Klein, & P. Santos (Eds.), *Eurographic workshop on graphics and cultural heritage*. Eurographic Association. <https://doi.org/10.1111/cgf.12781>
- (2017). Digital fabrication techniques for cultural heritage: A survey. *Computer Graphics Forum*, 36, 6–21.
- Solima, L. (2012). *Il museo in ascolto. Nuove strategie di comunicazione per i musei statali*. Rubbettino.
- (2014). Digital Resources and Approaches Adopted by User-Centred Museums: The Growing Impact of the. In L. Aiello (Ed.), *Handbook of research on management of cultural products: E-relationship marketing and accessibility perspectives* (pp. 181–189). IGI-Global.
- Solima, L., & Tani, M. (2016). Do not Touch! How 3D Printing can open the way to an accessible museum! In *XXVIII Sinergie Annual Conference: Management in a Digital World. Decisions, Production, Communication*. Udine: University of Udine. https://www.researchgate.net/publication/312604338_Do_Not_Touch_How_3d_Printing_can_open_the_way_to_an_accessible_museum
- Spence, C., & Gallace, A. (2008). Making sense of touch. In H. Chatterjee (Ed.), *Touch in museums: Policy and practice in object handling* (pp. 21–40). Berg.
- Tacha, A. C. (1963). Brancusi: Legend, reality and impact. *Art Journal*, 22, 240–241.
- Vermeersch, P. W., Schijlen, J., & Heylighen, A. (2018). Designing from disability experience: Space for multi-sensoriality. In *Proceedings of the Participatory Design Conference*, Hasselt & Genk, Belgium, 20–24 August.
- Vescovo, F. (2002). Accessibilità. *Paesaggio Urbano*, 1, 9–11.
- Walters, D. (2009). Approaches in museums towards disability in the United Kingdom and the United States. *Museum Management and Curatorship*, 24(1), 29–46.
- Wang, S. (2020). Museum as a sensory space: A discussion of communication effect of multi-senses in Taizhou Museum. *Sustainability*, 12(7), 3061.
- Williams, T. R. (1966). Cultural structuring of tactile experience in a Borneo society. *American Anthropologist*, 68, 27–39.
- Wilson, P., Griffiths, S., Williams, E., Smith, M. P., & Williams, M. A. (2020). Designing 3-d prints for blind and partially sighted audiences in museums: Exploring the needs of those living with sight loss. *Visitor Studies*, 23, 2. <https://doi.org/10.1080/10645578.2020.1776562>
- Wilson, P. F., Stott, J., Warnett, J. M., Attridge, A., Smith, M. P., & Williams, M. A. (2018). Museum visitor preference for the physical properties of 3D printed replicas. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 175–185.
- , Smith, M., & Williams, M. (2018). Evaluation of touchable 3D-printed replicas in museums. *Curator: the Museum Journal*, 60, 8.

