

Tecnologías Actuales de Digitalización de Obras Patrimoniales



Autor: Julieta Cash

Trabajo Final de Grado

Grado de Conservación-Restauración de Bienes Culturales

Tutor: Gonzalo Martí Beltrán

Curso: 2020-2021

Resumen

El presente trabajo es el resultado de una exploración de los medios digitales disponibles en la actualidad y su uso dentro del ámbito patrimonial. Se describen los métodos de documentación digital de obras patrimoniales más utilizados hoy en día, así como de sus posibles usos dentro del ámbito de investigación y como formatos de exposición virtuales y físicos. Mediante esta investigación se hace una puesta en valor de las tecnologías que hay disponibles, que cada vez son más accesibles y económicas, y se promueve que se tengan en cuenta a la hora de plantear intervenciones en el patrimonio cultural.

Palabras clave

Digitalización de patrimonio, exposición virtual, fotogrametría, postproducción digital, automatización.

Abstract

The present work is the result of a study of the digital assets available today, and their application in the heritage field. There is a description of the most common ways to document heritage pieces at the present, as well as their possibilities of use as study tools and as exhibition pieces both virtually and physically. The purpose of this research is to increase the value of the technologies that we have available, which are more accessible and economical everyday, in order to promote their use at the time of planning an intervention to a cultural asset.

Keywords

Digitalization of cultural assets, virtual exhibition, photogrametry, digital editing, automation.

Índice

1. Introducción	6
2. Contexto de Implementación de Tecnologías Digitales en el Ámbito Patrimonial	8
3. Herramientas de Digitalización del Patrimonio Cultural	13
3.1. Ficha de registro	14
3.2. Soporte gráfico digital	17
3.2.1. Representaciones 2D	18
3.2.1.1. Mapas de bits	18
3.2.1.2. Imágenes vectoriales	18
3.2.1.3. ¿Cómo seleccionar el formato 2D más adecuado?	19
3.2.2. Modelos 3D	20
3.2.2.1. Modelado manual	21
3.2.2.2. Escáner Láser 3D	26
3.2.2.3. Fotogrametría	27
3.2.2.4. Principales características y diferencias de los sistemas de modelado 3D	30
3.2.3. Postproducción	31
4. Utilidad de los Modelos Digitales en el Ámbito Patrimonial	34
4.1. Investigación y estudio de las obras	34
4.1.1. Investigación	35
4.1.2. Estudio	35
4.1.3. Documentación	36
4.1.3.1. Automatizar el proceso de documentación	37
4.1.4. Conservación y Restauración	38
4.1.4.1. Herramientas tecnológicas para la conservación preventiva	39
4.1.4.2. Restauración digital	39
4.1.4.3. Ejemplo de reintegración pictórica a partir de la herramienta “Rellenar según contenido” de Adobe Photoshop®	46

4.2. Educación y comunicación	49
4.2.1. Difusión en sitios <i>web</i> y redes sociales	51
4.2.2. Uso de modelos 3D como objetos expositivos	53
4.2.2.1. Realidad Aumentada y Realidad Virtual	54
5. Uso de la fotogrametría en la documentación de obras patrimoniales: dos casos prácticos	57
5.1. Fotogrametría de sector de muralla romana de Barcino	58
5.2. Fotogrametría de escultura de busto redondo	60
6. Conclusiones	66
Bibliografía	71
Anexos	77
Anexo 1. Glosario	78
Anexo 2. Carta de Londres	82
Anexo 3. Principios de Sevilla	96
Anexo 4. How to reach your public remotly	107
Anexo 5. Muralla Romana de Barcino	118
Anexo 6. Acceso a los modelos 3D subidos a la plataforma Sketchfab ®	136

1. Introducción

La elección del tema de este trabajo deriva de un interés por conocer cuáles son los medios de digitalización actuales y cuáles son sus aplicaciones en el ámbito patrimonial.

La metodología utilizada para hablar de las tecnologías de digitalización que se utilizan actualmente en el ámbito de los bienes culturales ha partido de una revisión de las definiciones de digitalización y de la terminología y código deontológico del ámbito patrimonial. Esta conceptualización ha dado pie a establecer conexiones, que permiten visualizar de forma esquemática la utilidad de la digitalización de patrimonio, y las problemáticas que pueden suponer la adaptación de los medios digitales a los criterios profesionales de la conservación-restauración.

A partir de la esquematización realizada en una primera instancia, se ha realizado un estudio autónomo sobre el tema, seleccionando bibliografía reciente que refleja el estado actual de la implementación tecnológica en el campo de la conservación de patrimonio y de su museografía. La búsqueda bibliográfica se ha complementado con información obtenida a partir de visitas a museos e instituciones, y de la realización de entrevistas a profesionales de otros ámbitos, que se dedican a la implementación de las mismas tecnologías en sus disciplinas.

Con el objetivo de contrastar la investigación realizada se han incluido dos casos prácticos, que ejemplifican el procedimiento para la obtención de un modelo 3D a partir de una fotogrametría, y se han evaluado los resultados obtenidos.

Siguiendo esta línea de trabajo, se persiguen los siguientes objetivos:

- Realizar una cartografía de las herramientas digitales de documentación que se utilizan actualmente
- Explorar las posibilidades y limitaciones que ofrece la digitalización en el ámbito patrimonial
- Evaluar el aprovechamiento actual de estas técnicas en espacios museo

2. Contexto de Implementación de Tecnologías Digitales en el Ámbito Patrimonial

Históricamente siempre se ha velado por preservar la integridad física de los bienes culturales, teniendo en cuenta como elementos primordiales que se buscan preservar, en primer lugar, el aspecto y, en segundo orden, la estructura de las piezas. Las “Teoría de la Restauración” en las que se basan los códigos deontológicos de conservación y restauración actuales, como las de Viollet Le-Duc, Ruskin, Cesare Brandi, y Camilo Boito, tienen como objetivo el tratamiento material de los objetos. No obstante, estas teorías no tuvieron en cuenta los avances tecnológicos modernos y la capacidad de digitalizar y virtualizar obras patrimoniales.

A partir del surgimiento de las tecnologías actuales de digitalización, su aplicación a las obras patrimoniales ha sido controversial y solo recientemente

se comienza a difundir su implementación (Rodríguez Silgo, 2015). Por un lado, el valor del patrimonio cultural material está parcialmente subordinado a su originalidad y por lo tanto la generación de copias virtuales se consideraba cuestionable. Se temía la posibilidad de que, al tener acceso a la copia virtual, el público hiciera un uso indebido del material, o bien dejara de asistir a visitar las obras *in situ*, generando una pérdida de beneficios económicos.

Estos planteamientos resultan erróneos ya que los medios digitales de información y comunicación aportan un valor añadido al patrimonio, siendo herramientas de conservación y de exposición. Los profesionales del ámbito patrimonial ya hace varios años que están explorando cuales son las posibilidades que ofrecen las tecnologías de digitalización. Dos publicaciones referenciales que intentan consensuar un método académico para la aplicación de medios de visualización digital son la *Carta de Londres* (London Charter, 2009) y los *Principios de Sevilla* (ICOMOS, 2017).

La *Carta de Londres* define principios de integridad intelectual, fidelidad, documentación, sustentabilidad y acceso a contenidos. Evidencia la variedad de medios digitales disponibles, y del surgimiento constante de nuevos, por lo que intenta brindar lineamientos genéricos que se puedan aplicar a cualquiera de ellos. Por otro lado, busca promover el rigor intelectual y técnico en la divulgación de patrimonio digital, y asegurar que las visualizaciones por ordenador y otros dispositivos sea entendida y evaluada correctamente por los usuarios. Promueve el uso de medios digitales como herramientas de estudio e interpretación rigurosos e incentiva proporcionar acceso a todo público. La carta también valora la implementación de estrategias sustentables para su implementación. Finalmente ofrece pautas formales para cumplimentar los principios que define. Por otro lado, los *Principios de Sevilla* se basan en la *Carta de Londres*, pero están dirigidos al patrimonio arqueológico, haciendo sugerencias concretas de aplicación de criterios.

El debate sobre las posibilidades que ofrecen los medios digitales de información y comunicación se vio potenciado durante el año 2020 por el brote pandémico del virus COVID-19. Esta circunstancia actuó como disparador para que muchos museos actualizaran sus estrategias de difusión de contenidos y para que organizaciones como el Consejo Internacional de Museos (ICOM) organicen eventos específicos para compartir conocimientos de transformación digital. Esta organización también ha elaborado listas de casos de estudio y buenas prácticas en la gestión digital.

Otro condicionante que afectó a la digitalización del patrimonio cultural fue el costo económico que requería su producción, y la falta de interés por parte de las entidades gubernamentales pertinentes por asignar presupuesto a estos proyectos. Sin embargo, estas técnicas cada vez resultan económicamente más accesibles, promoviendo la implementación de programas de digitalización.

Actualmente se han reconocido varios beneficios de la digitalización y difusión de bienes culturales en sus tratamientos de conservación y restauración. Por un lado, la exposición virtual de las obras puede promover una puesta en valor de objetos que no están expuestos físicamente en los espacios museo, y atraer inversiones de entes públicos o privados para financiar sus intervenciones. Además, las tecnologías actuales brindan nuevas herramientas para la intervención de piezas, y especialmente para los procesos de documentación.

La documentación de las obras es un proceso que ha tomado cada vez más relevancia dentro de las tareas del conservador-restaurador. De acuerdo con el Código de Deontología del ICOM para los Museos,

“Las colecciones de un museo se deben documentar con arreglo a las normas profesionales comúnmente admitidas. La documentación debe comprender la identificación y descripción completas de cada objeto, así como de sus elementos asociados, procedencia, estado, tratamiento de que ha sido objeto y su localización actual. Estos datos se deben conservar en lugar seguro y se debe contar con sistemas de búsqueda para que el personal y otros usuarios legítimos puedan consultarlos.” (ICOM, 2004).

Este mismo código también determina que cada proceso de conservación y restauración, así como cualquier modificación del objeto original, se deben documentar.

Si bien los museos ya tienen en claro que documentar es una tarea esencial dentro de las intervenciones de conservación y restauración, históricamente algunas instituciones de menor infraestructura, o propietarios privados, han llevado a cabo este proceso de forma superficial. Como el resto de los procedimientos, documentar requiere tiempo de trabajo, y debido a que es una labor que no tiene visibilidad en el resultado final de la obra no siempre se le ha solicitado al restaurador que la realice.

Gracias a los avances tecnológicos relativamente recientes, se vuelve posible documentar en mayor profundidad, más rápida y económicamente. Estos métodos además permiten reemplazar técnicas tradicionales que podían

resultar agresivas para los materiales originales de la obra, como por ejemplo la realización de moldes. Las tecnologías actuales ya no solo son la mejor opción para realizar dibujos técnicos bidimensionales, como plantas, alzados, secciones y detalles, sino que existe la posibilidad de crear un **modelo BIM** (*Building Information Modelling*), es decir un modelo 3D que interrelaciona toda la información gráfica y técnica de la obra (Martín Talaverano et al, 2021). El interés en el uso de un único modelo digital que incluye toda la información de la obra es favorecer el trabajo colaborativo de un equipo interdisciplinario de profesionales.

“Previamente a cualquier intervención, se realizará una investigación interdisciplinar cuyos resultados se reflejarán en un informe. El equipo de trabajo estará integrado por científicos, historiadores del arte, arqueólogos, arquitectos, etnólogos y restauradores de diferentes especialidades. A partir de las conclusiones obtenidas se establecerán los criterios y la metodología de trabajo a seguir.” (Decálogo de la restauración. Criterios de intervención en bienes muebles, 2007)

Sin embargo, durante la implementación de estas tecnologías se ha experimentado una nueva problemática vinculada al exceso de documentación. En este caso, algunos museos e instituciones se han encontrado con más documentación de la que su infraestructura era capaz de gestionar.

Según el filósofo italiano Umberto Eco (Audiovisuales UNS, 2014) el exceso de información produce ruido, desensibilización y desinformación ya que la sobrecarga de datos inútiles dificulta la asimilación de los datos relevantes. A pesar de esto, una persona formada tiene la oportunidad de filtrar la información pertinente. La problemática que generan estos grandes volúmenes de información hace necesario que desde el campo profesional vinculado al patrimonio cultural se adquieran conocimientos de gestión de **macrodatos** (en inglés, *big data*).

Además del proceso documental, las nuevas tecnologías de digitalización promueven el desarrollo de técnicas que cumplen con nuestros criterios actuales de mínima intervención, ya que al aplicar intervenciones digitales no es necesario manipular directamente la obra.

“Toda manipulación de la obra implica riesgo, por tanto, hay que ceñirse a lo estrictamente necesario, asumiendo la degradación natural del

paso del tiempo. Deben rechazarse los tratamientos demasiado intervencionistas que puedan agredir a la integridad del objeto.” (Decálogo de la restauración criterios de intervención en bienes muebles, 2007)

En el ámbito de la conservación y restauración los avances tecnológicos en los procesos de digitalización proporcionan mayor cantidad de información sin la necesidad de entrar en contacto directo con la pieza y hacen posible prever los resultados de las intervenciones propuestas.

Al utilizar formatos de exposición total o parcialmente virtuales se puede optar por realizar intervenciones de restauración digitales que no alteren físicamente al objeto. Estos formatos brindan la posibilidad de exponer en paralelo a la obra antes y después de su tratamiento o la obra junto con otras piezas, permitiendo al usuario relacionar las imágenes y compararlas. Las técnicas digitales permiten realizar reintegraciones y reconstrucciones tanto bidimensionales como de 3 dimensiones (3D). Por otro lado, ofrecen la versatilidad para que el usuario pueda ver el objeto en su estado actual, y en sus distintas fases de restauración. Al realizar este tipo de intervención es importante basarse en una investigación previa de la pieza para obtener una reconstrucción con valor histórico. Dado que las técnicas de representación gráfica digital ya están al alcance de cualquier público, ocasionalmente se genera la difusión de imágenes artísticas elaboradas sin rigor científico, que imitan obras patrimoniales. Estas imágenes pueden conducir a errores de interpretación de la obra original, no obstante, cabe mencionar que esta problemática también se generaba con imágenes artísticas realizadas mediante técnicas tradicionales antes de **la Era Digital**. En los casos de exposición virtual se ha de tener en cuenta que la obra original seguirá requiriendo un seguimiento de conservación preventiva y se ha de evitar que las piezas caigan en el olvido almacenadas en el depósito.

Por otro lado, los soportes gráficos digitales no se limitan a las imágenes finales, sino que también se pueden utilizar como herramientas de estudio. Un ejemplo de este tipo de uso es el diseño de mapeos de materiales, alteraciones, o cualquier otro elemento que se requiera evidenciar de una obra.

Una vez generados los modelos virtuales es posible reproducirlos a través de diversos medios. Una publicación en línea es un buen primer punto de contacto para que un visitante de museo se informe sobre la obra de interés. Otras tecnologías de reproducción de modelos gráficos que se están aplicando cada vez con mayor frecuencia son la realidad virtual y la realidad aumentada. Se trata de tecnologías que aún se encuentran en desarrollo, pero que están encontrando una buena recepción del público.

3. Herramientas de Digitalización del Patrimonio Cultural

Para realizar una aproximación a las herramientas digitales de documentación de patrimonio cultural se ha realizado un esquema que categoriza los formatos disponibles en la actualidad. A partir de los ítems evidenciados en este esquema ha sido posible profundizar sobre cada uno, y explorar las posibilidades que brinda cada procedimiento.



3.1. Ficha de registro

Al recibir una pieza el primer proceso que realiza el conservador-restaurador es la creación de una ficha de registro (en inglés *condition report*). Esta ficha sirve para examinar, diagnosticar y documentar el estado de la pieza. En la actualidad esta ficha se crea directamente en un formato informático, por lo que este proceso es a su vez la primera instancia de digitalización de las piezas.

Digitalizar: *Convertir o codificar en números dígitos datos o informaciones de carácter continuo, como una imagen fotográfica, un documento o un libro.* (R.A.E., s. f.-a)

Digital: *Dicho de un dispositivo o sistema: Que crea, presenta, transporta o almacena información mediante la combinación de bits.* (R.A.E., s. f.-b)

La documentación consiste en el registro de la condición del objeto cultural en un momento determinado. Algunos ejemplos de estandarización para la documentación de obras patrimoniales son el modelo de ficha propuesto por el Instituto Canadiense de Conservación y la Carta arqueológica de Barcelona.

A pesar de diversas iniciativas de estandarización de la ficha técnica de las piezas patrimoniales, cada institución suele utilizar su propio modelo de ficha, personalizado según sus necesidades. Los campos comunes que se suelen incluir en la ficha de registro son:

- Información sobre el objeto, como datos de inventario, descripción, técnica y archivo histórico de la pieza
- Descripción precisa de las alteraciones
- Diagnóstico
- Propuesta de tratamiento
- Tratamiento
- Recomendaciones de conservación preventiva

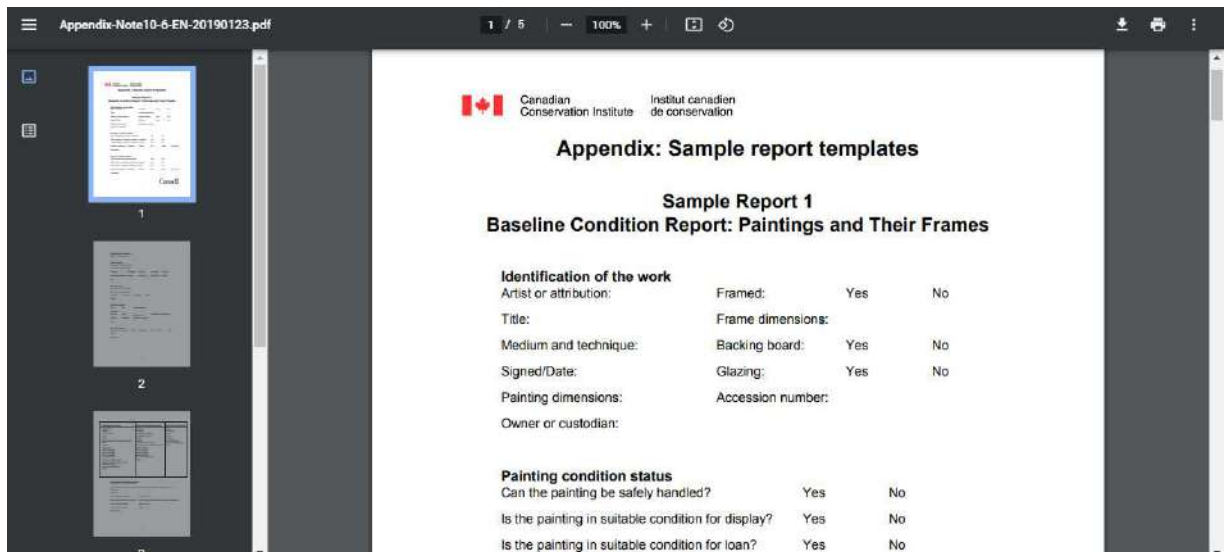


Fig 1. Modelo de ficha publicado a modo de ejemplo por el Instituto Canadiense de Conservación (Canadian Conservation Institute, s.f.)

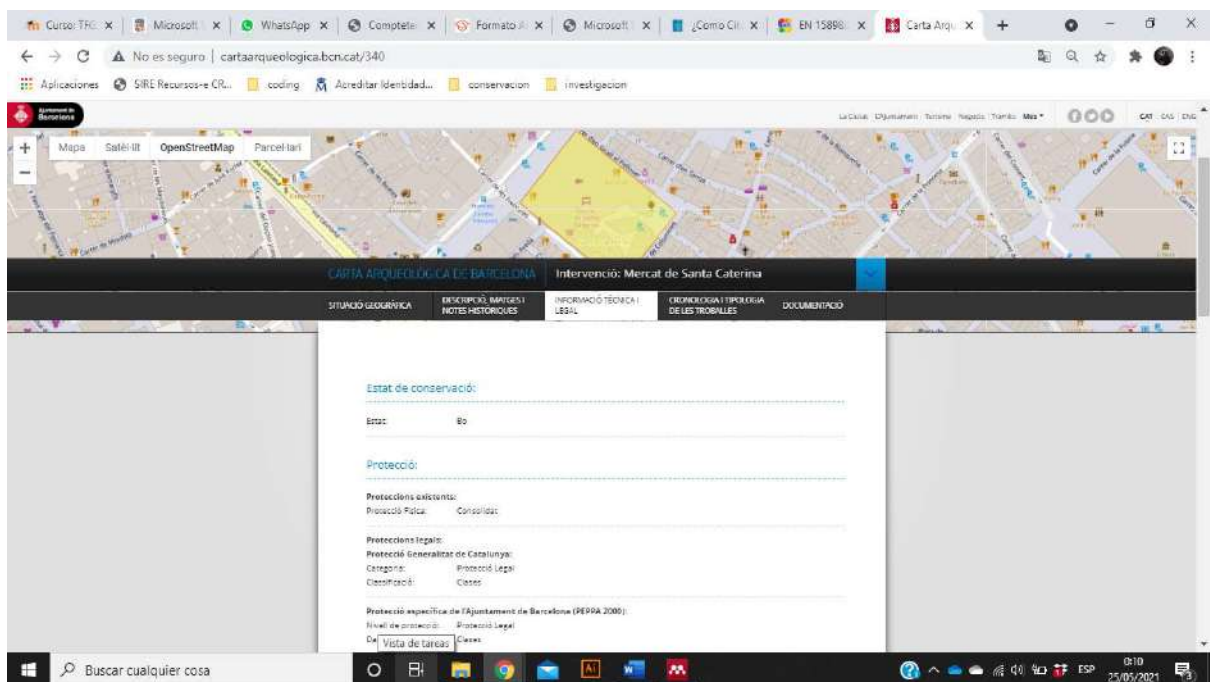


Fig 2. Carta arqueològica de Barcelona. Se observa a modo de ejemplo la ficha técnica del Mercado de Santa Caterina. (Ajuntament de Barcelona, s. f.-a).

Para la creación de la ficha habitualmente se utilizan programas procesadores de texto, como por ejemplo Microsoft Word®, pero también existen en el mercado aplicaciones diseñadas específicamente para este fin.

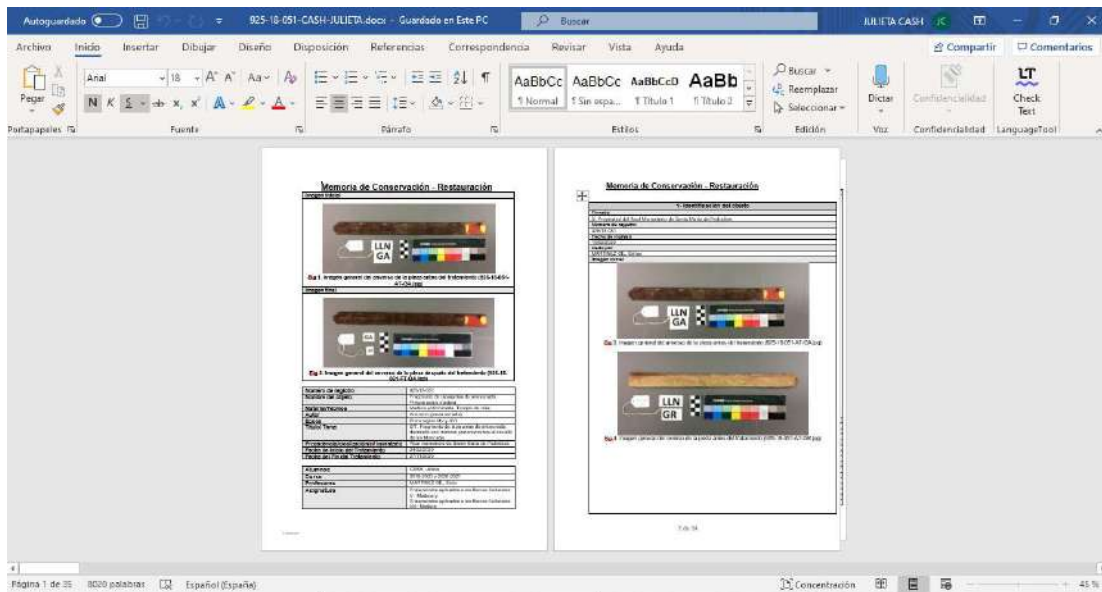


Fig 3. Ejemplo de ficha realizada utilizando el procesador de texto Microsoft Word® siguiendo el modelo de ficha propuesto por el departamento de Conservación y Restauración de la Universidad de Barcelona. Imagen de autoría propia.

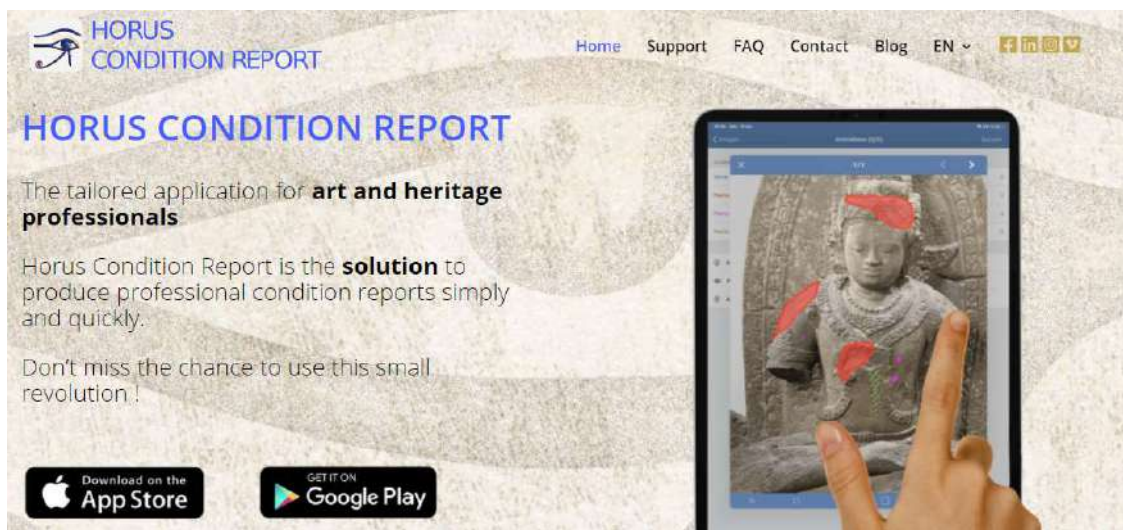


Fig 4. Ejemplo de aplicación diseñada específicamente para la creación de fichas de conservación y restauración (Horus Heritage Service, 2021).

Un ejemplo de **aplicación** diseñada para los profesionales de la disciplina de la conservación y restauración es Horus Condition Report®, desarrollada por Horus Heritage Service©. Este es un **software** de pago que está disponible para dispositivos móviles a través de la App Store de Apple© y a través de Google Play® para dispositivos con otros sistemas operativos. Horus Condition Report® brinda herramientas para automatizar el proceso de documentación, ya que incluye un modelo de plantilla integrado para rellenar fácilmente. Por otro lado,

permite añadir fotografías de la pieza e incorpora herramientas de dibujo para realizar mapeos dentro de la misma aplicación. A su vez, proporciona herramientas para ordenar las fichas según el número de registro de la pieza, y para exportar grupos de archivos y datos. Entre los diferentes formatos de exportación se incluye el formato .csv que puede visualizarse mediante programas de hojas de cálculo, como por ejemplo Microsoft Excel®, facilitando la elaboración y lectura de estadísticas y gráficos.

La información dentro de cada ficha no solo se plasma en forma de texto, como informes, valoraciones, detalle de tratamientos, resultados de exámenes analíticos de materiales, memorias de trabajo, estudios e investigaciones especializadas, sino que también forman parte de la documentación las fotografías, planimetrías, restituciones 3D, fotogrametrías, mapas, croquis, esquemas y otros formatos de representación gráfica que la pieza puede requerir.

Hoy en día la información disponible en formato visual se encuentra en auge, ya que resulta más fácil y rápida de interpretar respecto a la documentación escrita. Por otro lado, las herramientas y maquinarias necesarias para crear estas imágenes han sido muy desarrolladas por otros campos profesionales, por lo que resultan cada vez más precisas y económicas. Este desarrollo se difunde y finalmente se aprovecha también dentro del ámbito de digitalización de patrimonio cultural.

En 2017 el Departamento de Cultura de la Generalitat de Catalunya, a través de la Dirección General del Patrimonio Cultural y la Agencia Catalana del Patrimonio Cultural presentaron conjuntamente el proyecto *Giravolt. Viu el patrimoni català en 3D*. Según el *dossier* de prensa realizado para el proyecto *Giravolt*, las tecnologías en fase de crecimiento que más impacto tendrán en el sector patrimonial dentro de los próximos años serán la gestión de *big data*, la telepresencia y las tecnologías relacionadas con el 3D. Este proyecto estudia la implementación de las tecnologías de digitalización de patrimonio en el territorio catalán, basándose en una comparación del estado de la cuestión en Cataluña y el resto de Europa. En concreto mediante generación de fotogrametrías.

3.2. Soporte gráfico digital

Las representaciones gráficas digitales se pueden subdividir en dos grupos, las representaciones 2D, dentro de las cuales se engloban soportes fotográficos,

cartografías y otros gráficos; y las representaciones 3D, como las fotogrametrías y escaneados 3D.

3.2.1. Representaciones 2D

Entre las imágenes digitales de dos dimensiones se pueden subdividir dos tipos de formatos, los mapas de bit y las imágenes vectoriales.

3.2.1.1. Mapas de bits

Se denomina **mapa de bits**, o **imagen rasterizada**, a las imágenes que se componen por píxeles de diversos colores que se distribuyen uno junto a otro formando una cuadrícula. Según la cantidad de píxeles que contenga el archivo varía el ancho y altura de la imagen, y por lo tanto también su resolución. Dado que cada píxel es independiente de sus alrededores, se pueden representar juntos píxeles de diferentes colores, generando imágenes con grandes contrastes que permiten representar muchos detalles. Por otro lado, presentan problemas para realizar modificaciones en la escala de la imagen, ya que, al aumentar el tamaño de la representación solo se aumenta el tamaño de los píxeles, perdiendo calidad. Cuanto mayor sea la resolución original del fichero mejor se adaptará a una ampliación. A la vez cuanto mayor sea la resolución de la imagen mayor será el tamaño del fichero. Las principales representaciones gráficas que utilizan este formato son las fotografías, y los formatos digitales más utilizados son .tif, .jpg, .bmp, .png y .gif.

3.2.1.2. Imágenes vectoriales

Las **imágenes vectoriales** se componen de vectores, que son figuras creadas a partir de fórmulas matemáticas geométricas (*Dibujo vectorial para principiantes*, s. f.). La ventaja de las imágenes vectoriales es que ya que la representación depende de parámetros matemáticos es posible escalarlas sin que haya deformaciones o pérdidas de calidad. Este tipo de imágenes a la vez requiere menos espacio de almacenamiento. Sin embargo, dado que los medios de representación que se utilizan, como pantallas, proyecciones e impresiones, reproducen las imágenes a través de puntos, es necesario **rasterizar** las imágenes vectoriales (convertirlas en mapas de bit) para poder reproducirlas. Los principales formatos digitales de imágenes vectoriales son .svg, .eps, .dwg, .ai, .cdr y wmf. Este tipo de formato se utiliza principalmente para representar formas geométricas, e imágenes que quieren reproducirse en diferentes escalas, como logos, planos y esquemas.

3.2.1.3. ¿Cómo seleccionar el formato 2D más adecuado?

En la siguiente tabla se pueden observar resumidamente las principales características de los mapas de bits y las imágenes vectoriales. Estas referencias pueden ser útiles para seleccionar el formato más adecuado de representación según los objetivos de la imagen.

	Mapa de bits	Imágenes vectoriales
Usos principales	Fotografías	Gráficos geométricos, logos, planos técnicos y esquemas
Beneficios	<p>Los píxeles permiten conseguir imágenes con grandes contrastes y detalle.</p> <p>Se pueden editar los píxeles de forma independiente.</p>	<p>Permiten cambios de escala sin pérdida de calidad.</p> <p>Tamaños de archivo más livianos.</p>
Desventajas	<p>Los cambios de escala generan pérdidas de calidad.</p> <p>Tamaño de archivo más pesado.</p> <p>La vectorización es un proceso inexacto.</p>	Requieren rasterización, aunque es un proceso relativamente sencillo.
Formatos más utilizados	.tif, .jpg, .bmp, .png y .gif.	.svg, .eps, .dwg, .ai, .cdr y wmf

A modo de resumen, se puede concluir que las imágenes de mapas de bits consiguen representaciones con mayores contrastes, lo cual permite una mejor representación de detalles. No obstante, este tipo de imágenes pierden calidad al modificar su tamaño, por lo tanto, en los casos en que se quiera utilizar una misma imagen en distintas escalas es aconsejable utilizar una imagen vectorial. En algunos casos para la edición puede ser favorable trabajar con mapas de bits, ya que en este tipo de imágenes se puede modificar los píxeles de forma independiente.

3.2.2. Modelos 3D

El modelado 3D es el proceso en el que se crea una representación matemática de un objeto o de una forma tridimensional. Estos modelos actualmente se utilizan en sectores como el cinematográfico, desarrollo de videojuegos, arquitectura y construcción, diseño e ingeniería industrial e incluso medicina. En el sector de patrimonio cultural son útiles para la visualización, simulación y **renderización** de soportes gráficos. (*Software 3d design| Aplicaciones y recursos gratuitos, s.f.*).

Cabe mencionar que para muchos de los medios de representación y divulgación que se utilizan actualmente aún no están preparados para representar modelos en tres dimensiones. Por este motivo, muchas veces es necesario elegir un punto de vista del modelo 3D que se quiere insertar, y exportar una representación 2D desde esta perspectiva. Este proceso se denomina **renderizado**.

Según el *dossier* de prensa del Departamento de Cultura de la Generalitat de Catalunya realizado para el proyecto *Giravolt*, las tecnologías 3D se aplican en el ámbito patrimonial hace más de 10 años, pero en aquel entonces se trataba de técnicas costosas y complejas de aplicar, por lo que se reservaban para casos puntuales. A su vez, en estos casos la documentación 3D generada no se ha llegado a desarrollar y difundir al máximo posible, sino que se utilizó para resolver problemáticas puntuales.

Recientemente han aparecido en el mercado herramientas que vuelven estas técnicas más accesibles ya que se han desarrollado metodologías que permiten acceder a estos recursos con mínima inversión económica y capacitación. En la actualidad los modelos 3D son el método más preciso de documentar físicamente una pieza patrimonial.

Estas tecnologías actuales se aprovechan en diversos ámbitos relacionados con la gestión del patrimonio, como la investigación y estudio de obras, creación de productos educativos, y como herramientas de conservación y restauración. En los siguientes subapartados se describen las técnicas más utilizadas para el modelado 3D de piezas patrimoniales: modelado manual, escaneado 3D y fotogrametrías. Cabe mencionar que también existen otros métodos poco utilizados en este ámbito como el modelado 3D a partir de resonancias magnéticas (Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura, 2020).

3.2.2.1. Modelado manual

Se pueden generar modelos 3D de patrimonio cultural modelando manualmente las piezas en programas de diseño 3D. Esta técnica permite dibujar o esculpir el modelo 3D desde cero en un *software* específico a partir de las medidas reales del objeto. Existen disponibles programas de diseño 3D de código abierto muy potentes que permiten crear imágenes de muy buena calidad. No obstante, la calidad de la imagen y tiempo de *renderizado* estarán ligados a la capacidad del procesador y tarjeta gráfica del dispositivo que se utilice.

La *interfaz* de los programas de modelado 3D suelen incluir herramientas que modifican las propiedades de la escena, y herramientas que permiten editar los objetos que se incluyen en ellas. Los objetos que se pueden colocar dentro de una escena se subdividen en 3 tipos: la cámara, luces y los propios objetos modelados.

Para modelar un objeto, el programa suele incluir formas de *mall*a primitivas con formas geométricas sencillas en 2 y 3 dimensiones, como círculos, esferas, cubos y cilindros, que se editan para conseguir morfologías más complejas. Las mallas están compuestas por 3 elementos estructurales, los vértices, las líneas y las superficies. Un vértice es un punto único que se ubica en el espacio 3D mediante coordenadas en los ejes X, Y y Z. Una línea conecta dos vértices en una línea recta. La superficie es el plano que se forma entre 3 o más vértices, delimitado por una línea en cada uno de sus bordes. Por un lado, las mallas pueden modificarse trasladándolas en el espacio, rotándolas o cambiando su escala de forma proporcional.

Por otro lado, también pueden editarse a través de operaciones como reflejar, duplicar, o añadiendo y eliminado vértices, líneas y superficies para extrudir, dividir, separar, diseccionar y deformar. También se incluyen herramientas para modificar la superficie de las mallas, editando parámetros como la textura, color y brillo. Una forma de modificar la textura superficial es importar una fotografía y aplicarla sobre el objeto. En este caso, las aplicaciones de modelado 3D suelen incluir herramientas que permiten manipular la forma en que la imagen recubre al modelo. Por otro lado, la textura se puede manipular manualmente a través de herramientas que permiten esculpir un sector puntual del objeto, o bien alterar de forma homogénea toda su superficie a través de un *sistema de nodos*. Un nodo es un elemento que permite modificar matemáticamente los parámetros específicos de la superficie de un objeto, o de la escena. Los nodos se representan como cajas donde se plasman en forma textual y numérica los

valores que controlan. Estos se pueden conectar entre sí y al material al cual están modificando. Finalmente se debe asignar el material creado al objeto al que se le quiere aplicar la textura.

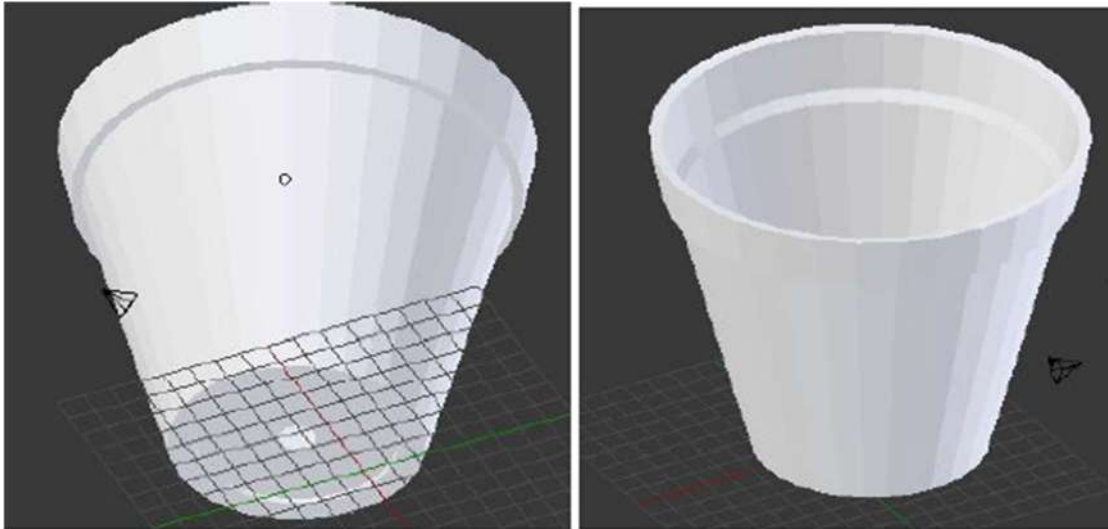


Fig 5. Ejemplo de modelo 3D realizado a través del programa de código abierto Blender® en su versión 2.7. Reconstrucción de maceta realizada para la asignatura Tratamientos Aplicados a los Bienes Culturales I del grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad de Barcelona en el año 2019.

El sistema de modelado manual es útil para modelos que son geoméricamente sencillos, y si se tiene dominio técnico del programa utilizado se pueden realizar más rápidamente que una fotogrametría o que un escaneado 3D.

Otro caso donde es necesario realizar el modelo manualmente es cuando la pieza original no está disponible para realizar una fotogrametría o escaneado 3D. Esto sucede, por ejemplo, si la pieza se ha perdido o destruido.

Un ejemplo donde ha sido aplicado este criterio fue la realización de un esquema gráfico del sistema constructivo de una pieza de la colección del Museo de Historia de Barcelona (MUHBA), para la asignatura *Prácticas Externas* del 4º curso del Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad de Barcelona.

La pieza estudiada es un candelabro medieval de hierro que sufre una gran deformación debido a un impacto que ha recibido. Esta deformación no permite realizar un esquema constructivo utilizando fotografías, fotogrametrías o escaneado 3D, ya que su morfología actual no se corresponde con la forma original que tenía el objeto durante su construcción. Para la representación gráfica se discutió la hipótesis constructiva de que la fabricación del candelabro

partió de una barra de hierro. A continuación, uno de sus extremos fue trabajado en forma de púa y el otro extremo se dividió en 3 segmentos para formar el trípode. En el último paso se trabajaron las patas para darles forma lobular.



Fig 6. Esquema gráfico que demuestra de izquierda a derecha los pasos constructivos para la fabricación del candelabro. Imagen de autoría propia

Para crear la imagen se diseñaron 3 objetos 3D que representan cada uno de los pasos constructivos del candelabro. En primer lugar, se creó la barra a partir de un cilindro, el modelo geoméricamente más sencillo. Para crear el segundo objeto se duplicó la barra, y se trabajaron los dos extremos del segundo modelo para modelar la púa y la separación de las tres patas. Para la representación del modelo final con las patas con forma lobulada se duplicó el segundo objeto, y se trabajó la forma de una de las 3 patas. Las otras 2 patas del modelo final adquirieron la de la primera utilizando una herramienta de simetría dada por el programa utilizado. Para **renderizar** la imagen la cámara se posicionó en frente de los modelos, para elegir el punto de vista desde donde generar la representación gráfica final. A la izquierda y derecha de la cámara se colocaron dos focos de luz, para iluminar los modelos de forma homogénea. El montaje de la escena en un programa de diseño 3D se puede presentar siguiendo las mismas pautas que se siguen para montar un plató real.

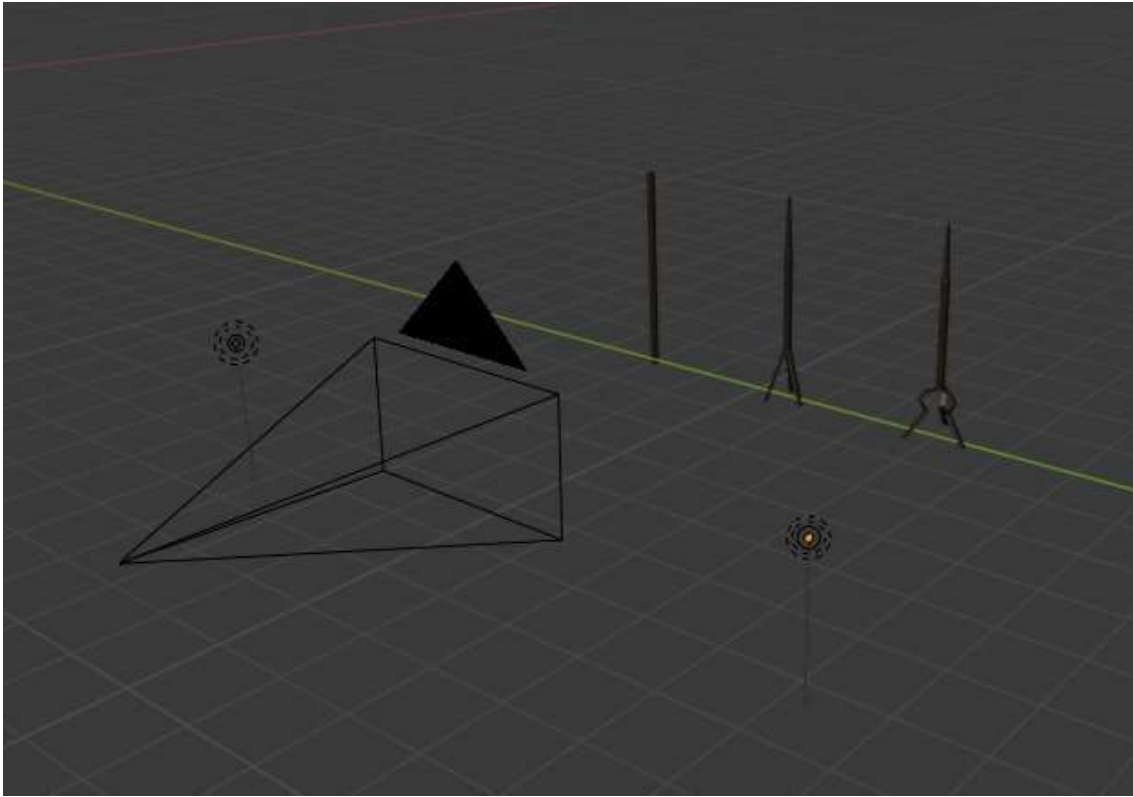


Fig 7. Imagen del detrás de escena del esquema presentado en la imagen anterior. Se observa la interfaz de trabajo de la aplicación Blender® en su versión 2.9. Se observan los 3 modelos, la cámara (elemento piramidal) y las luces (los elementos redondos). Imagen de autoría propia.

Para elaborar los modelos en primer lugar se trabajaron las mallas de los volúmenes geométricos, y a continuación se les asignó el “Material.001”, de un color que se asemeja al del candelabro. En los programas de diseño 3D un **material** está formado por un conjunto de parámetros que controlan la apariencia de los objetos, definen la substancia de la cual está hecha el objeto, su color, textura y reflectancia (*Blender 2.92 Reference Manual*, s. f.). Finalmente, para trabajar la textura dándole un aspecto de pátina de óxido similar a la que presenta la pieza actualmente se modificaron los parámetros del Material.001 mediante un sistema de nodos.

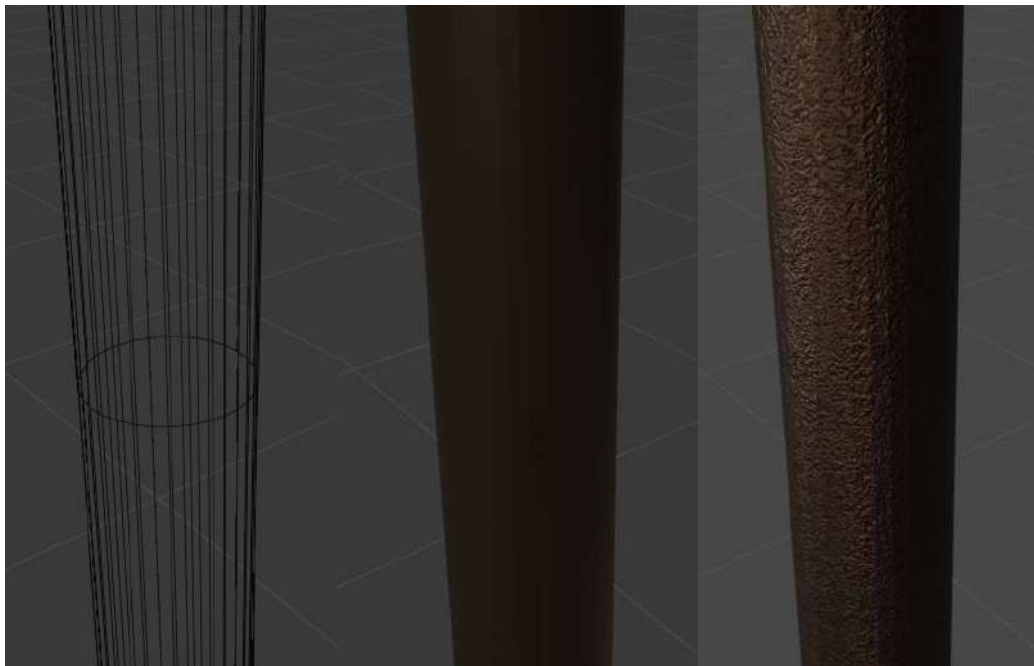


Fig 8 -10. Imágenes de detalle del modelo 3D. A la izquierda se observa la malla del modelo, en el centro las superficies pintadas de un color que se aproxima al del hierro del candelabro. A la derecha se observa la aplicación de una textura que intenta simular la pátina de óxido que presenta el candelabro actualmente. Imagen de autoría propia

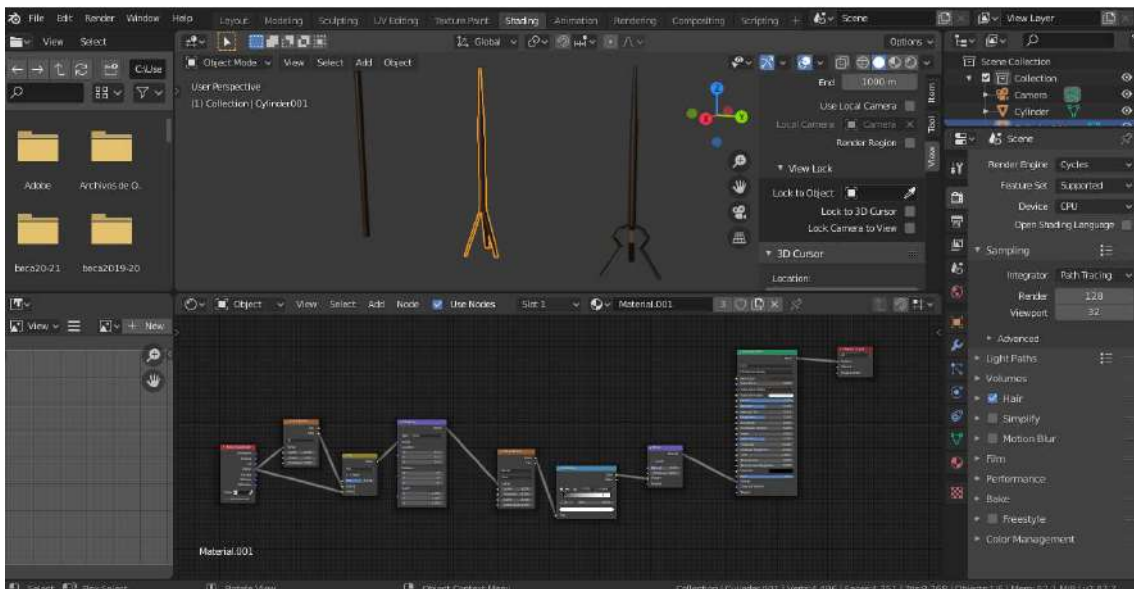


Fig 11. Trabajo de la textura superficial de los modelos a través de nodos. En la parte inferior se observa la red de nodos que modifican los parámetros del aspecto del “Material.001”, que está aplicado a los 3 objetos.

3.2.2.2. Escáner Láser 3D

El escáner láser funciona lanzando una luz que impacta en la superficie del objeto que se quiere escanear, y que vuelve al dispositivo para que este calcule la posición del impacto. La operación se repite registrando puntos cada pocos milímetros, con lo cual se consigue una forma tridimensional de mucha precisión.

Dentro de los escáneres 3D se diferencian los escáneres de largo-medio alcance (también llamados escáneres de tiempo de vuelo) y los escáneres de corto alcance (escáneres de sistema láser o de luz estructurada).

Los escáneres 3D de largo-medio alcance sirven para digitalizar objetos y superficies de grandes dimensiones. Son aquellos que emiten un pulso láser que se transmite a través de un espejo rotatorio. El pulso se refleja en la superficie escaneada y retorna al escáner. El escáner calcula la distancia hasta el objeto midiendo del tiempo de ida y vuelta del pulso, y ubica las coordenadas X, Y y Z según el ángulo del espejo. Estos escáneres se suelen asistir de una cámara fotográfica para determinar un color dentro del rango RGB.

Los escáneres 3D de corto alcance se utilizan para objetos de dimensiones más reducidas, ya que registran en detalle la superficie de la pieza. Funcionan por triangulación, por un lado, se proyecta un punto de luz (láser) o un patrón de luces (luz estructurada, como rayas paralelas o una cuadrícula), y a su vez, una o 2 cámaras captan la **proyección** sobre la superficie para medir la distancia y posición del objeto.

Durante la realización de este trabajo se ejecutó una prueba del funcionamiento del método de escáner 3D de corto alcance, utilizando el dispositivo disponible en el Taller de Maquetas de la Facultad de Bellas Artes de la Universitat de Barcelona. El escáner disponible es el modelo HP 3D STRUCTURED LIGHT SCANNER PRO S3® de la marca DAVID SLS-3©, que funciona utilizando 3 elementos independientes, un proyector, una cámara y un tablero que sirve como herramienta auxiliar para calibrar la proyección de la luz estructurada a la medida del objeto que se quiere digitalizar.

La proyección de la luz estructurada de este escáner puede abarcar una superficie de 60 a 500 mm², tiene una precisión de hasta 0,05 mm con capacidad de crear **mallas** de hasta 2.300.000 puntos por escaneo y una velocidad de hasta 2 segundos por escaneo dependiendo del procesador del ordenador que se está utilizando. La cámara y el proyector se conectan a un ordenador, desde donde mediante una **aplicación** propia de la marca del escáner se procesa la

información captada. El *software* utilizado puede exportar los modelos en formatos .obj y .stl.

El elemento que se intentó digitalizar fue un mechero de marca Clipper® de color anaranjado. Durante el escaneado surgieron problemas debido a la superficie brillante y oscura de la parte superior del mechero. Por otro lado, la luz del taller donde se realizó el escaneado no era la más aconsejable para realizar escaneados 3D. Como último factor condicionante, cabe mencionar que el ordenador disponible en el taller de maquetas está equipado con un procesador Intel Pentium®, que es un procesador de baja gama y no está suficientemente preparado para este tipo de trabajos.

La morfología del modelo 3D resultante presentó muchos defectos y se descartó.

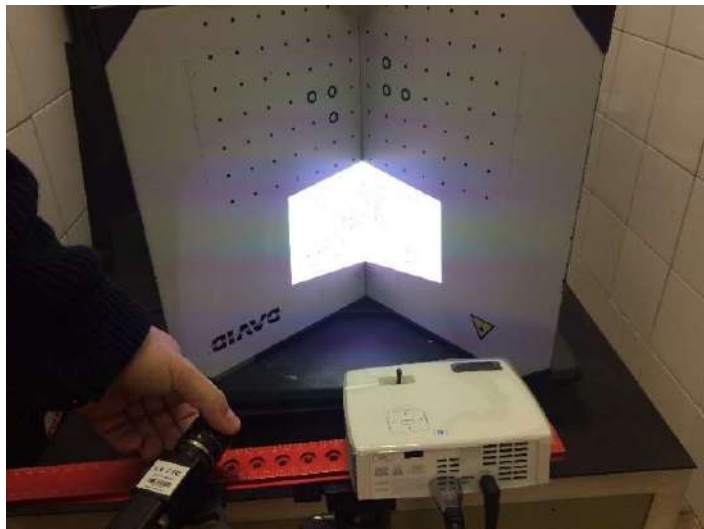


Fig 12. Imagen de proceso. Se ubicó el tablero delante del proyector y la cámara que ya estaban conectados al ordenador, para calibrar la proyección de la luz estructurada al tamaño del objeto que se quiere digitalizar. (Imagen de autoría propia)



Fig 13. Imagen de proceso. Se observa la luz estructurada proyectada sobre el objeto que se quiere escanear. (Imagen de autoría propia)

3.2.2.3. Fotogrametría

La técnica de la fotogrametría genera modelos 3D a partir de mediciones que se realizan introduciendo fotografías del objeto en un *software* específico.

Se deben realizar fotografías que capten todos los ángulos del objeto y que compartan un solapamiento de imagen entre sí para que la *aplicación* sea capaz

de interrelacionarlas. El conservador-restaurador experto en digitalización patrimonio catalán involucrado en el proyecto *Giravolt* del Departamento de Cultura de la Generalitat de Catalunya, Aleix Barberà Giné aconseja varios pasos para obtener buenos resultados al realizar una fotogrametría en su publicación *Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales* (2017). En primer lugar, se recomienda realizar un estudio y preparación del espacio, teniendo en cuenta desmontajes de vitrina, instalación de un plató fotográfico, los horarios de visita del museo, desmontaje de elementos que puedan distorsionar la captura del modelo y control de iluminación. Es recomendable trabajar con cámaras ópticas de buena calidad, y utilizar los parámetros adecuados de exposición, sensibilidad ISO, y profundidad de campo. Se debe utilizar la luz más difusa posible para evitar sombras y contraluces. También es favorable coreografiar una estrategia de capturas para asegurarse de obtener imágenes de toda la obra con un solapamiento parcial entre cada fotografía.

El programa analiza la presencia de puntos homólogos entre las fotografías de forma automática. Así se obtiene la distribución de las cámaras, en un espacio 3D que se genera en la **interfaz** del programa. A su vez, la **aplicación** identifica los puntos del modelo para formar una **nube de puntos**. En este proceso se pueden generar distorsiones y puntos que se deberán eliminar.

A partir de la nube de puntos, el **software** genera en un segundo paso una nube de puntos densa multiplicando los puntos reconocidos. Si es necesario, luego de este paso se deberán eliminar manualmente puntos incoherentes generados de forma automática. La aparición de estos puntos depende de la calidad de las fotos, de las características de la pieza, y de la estrategia de captura.

A partir de la unión de los puntos mediante líneas se generan triángulos, que conforman una **mall**a. Sobre los planos triángulos el **software** aplica la textura a partir de las propias fotografías. En este proceso la fotogrametría se destaca frente a la técnica de escaneado 3D, ya que se crea una textura fotorrealista sobre el modelo tridimensional. A pesar de utilizar estrategias de gestión de color, no se puede garantizar que los resultados sean totalmente fieles a los colores y texturas originales, sin embargo, los resultados son de suficiente calidad para la mayoría de los propósitos y aplicaciones en los que se utilizan las fotogrametrías.

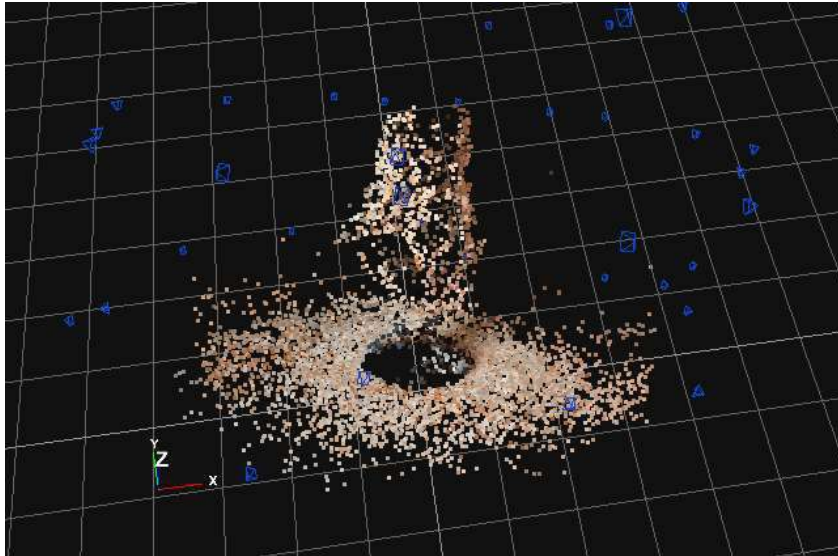


Fig 14. Fotogrametría realizada en el programa 3D Zephyr Free® en su versión 5.019. Obtención de nube puntos dispersa. Los puntos se observan rodeados de pirámides azules que representan los puntos de vista desde donde se han realizado las fotografías importadas al programa Imagen de autoría propia

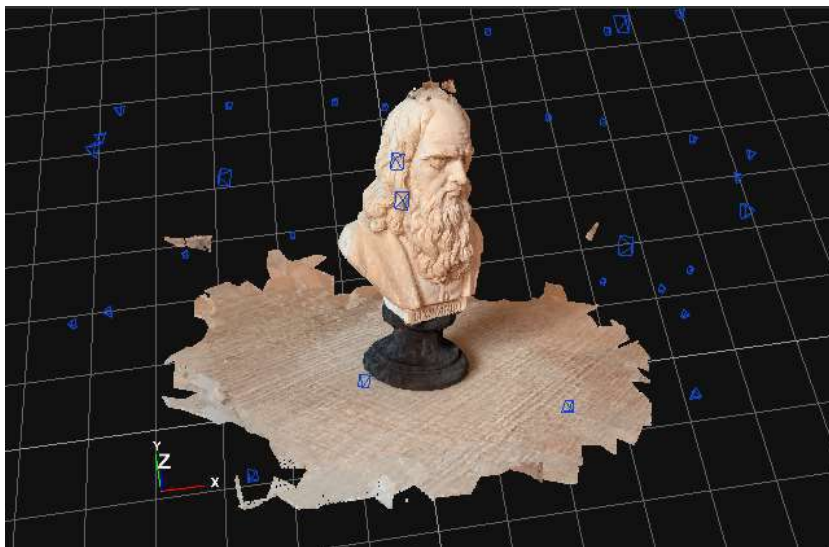


Fig 15. Segundo paso de proceso de fotogrametría. obtención de nube de puntos densa. La fotogrametría ha captado también la mesa donde se ha colocado el objeto. Imagen de autoría propia



Fig 16. Último paso del proceso de fotogrametría. Se observa la malla final con textura. Se han eliminado manualmente los puntos que no formaban parte de la obra. Imagen de autoría propia

En la actualidad existen muchas aplicaciones específicas, que son capaces de obtener mejores o peores resultados. Es previsible que estos programas se actualicen y que aparezcan nuevos *software* en el mercado, por lo que se debe tener en cuenta la obsolescencia de los datos que se generan.

La elección del *software* y la cantidad de fotografías realizadas afectarán a la calidad del modelo final. Es recomendable tener en claro los objetivos deseados de antemano, para realizar una fotogrametría de la calidad necesaria.

3.2.2.4. Principales características y diferencias de los sistemas de modelado 3D

En la siguiente tabla se evidencian las principales características y diferencias entre los sistemas de modelado 3D que se han descrito. Teniendo en cuenta estas características es posible seleccionar el método más adecuado para los objetivos finales del modelo digital.

	Modelado Manual	Escaneado 3D	Fotogrametría
Tiempo de creación	Depende del procesador y tarjeta gráfico utilizado y de la complejidad de la pieza.	Proceso automático. Depende del procesador y tarjeta gráfica utilizado.	Proceso automático. Depende del procesador y tarjeta gráfica utilizada.
Precisión	Variable	Muy buena	Buena

Capacitación requerida	Requiere capacitación técnica.	Mínima	Mínima
Requiere obra original	No	Si	Si
Uso para difusión	Si	Si	Si
Uso para estudio de obras	Depende de la fidelidad del modelo.	Si	Si
Precio	Despreciable	Costo inicial elevado debido a la inversión en el equipamiento específico.	Despreciable, ya que se puede realizar con dispositivos domésticos.

Una vez analizadas las diferencias entre los métodos de obtención de un modelo 3D se concluye que la elección del mejor método para realizar el modelo dependerá de los objetivos que se busquen a la hora de realizarlo y de los recursos disponibles. El escaneado 3D brinda los mejores resultados de digitalización, pero requiere una inversión inicial elevada debido a la compra del propio escáner. Según los usos que se le quiera dar al modelo 3D, es posible que no sea necesario crear un modelo tan preciso, que a la vez puede resultar pesado y difícil de reproducir en dispositivos menos potentes. En el caso de la fotogrametría se pueden conseguir resultados de digitalización muy precisos utilizando dispositivos domésticos, por lo que resulta un método de digitalización idóneo para la mayoría de los escenarios. En cuanto al modelado manual, a pesar de que se puede realizar gratuitamente desde aplicaciones de código abierto, la capacitación y el aprendizaje pueden requerir una inversión económica y de tiempo. Este tipo de modelado se recomienda especialmente en casos en los que no se tiene acceso a la obra para ser digitalizada.

3.2.3. Postproducción

Las imágenes que se capturan en formatos digitales se pueden aprovechar de formas muy variables mediante el trabajo de postproducción digital. Hoy en día la capacidad de manipular programas de edición digital es fundamental para los conservadores-restauradores. Sin embargo, muchos profesionales terminan

formándose de manera autónoma en el tratamiento de imágenes digitales, y no existe un método estandarizado de edición (González López y Martínez Calvo, 2009). Aunque es posible recurrir a un profesional externo para realizar esta tarea, la falta de conocimientos técnicos por parte del conservador-restaurador puede conducir a carencias en el resultado final.

“Si en la pintura del siglo XV la tecnología punta eran los pinceles de pelo de turón y la técnica del óleo, en la del siglo XXI lo son el ratón y el píxel.”
(Mateos Rusillo y Gifreu Castells, 2014)

Dentro de los programas de edición de imágenes en formato 2D, como fotografías, croquis o mapas, se diferencian principalmente dos tipos de *software*, aquellos que trabajan editando mapas de bits y aquellos que utilizan sistemas vectoriales.

El ejemplo más conocido de editor de mapas de bits es Adobe Photoshop®, aunque existen otras alternativas de aplicaciones de código abierto como Gimp®, y aplicaciones diseñadas específicamente para estudiar patrimonio cultural, como DStretch®, desarrollada para el estudio de pinturas rupestres. Estas aplicaciones tienen capacidad de seleccionar píxeles no solo por continuidad, sino también por similitud de color, y permitiendo modificar sus canales RGB.

El artículo *Análisis de imágenes digitales con DStretch como soporte a la restauración virtual de una pintura mural histórica en San Cristóbal de la Laguna* (Fuentes Porto et al, 2020), evidencia no solo la capacidad de estos programas para producir imágenes nuevas, sino que sirven también como herramientas para realizar estudios fidedignos que reconstruyen las imágenes perdidas. En este caso específico, la **aplicación** se utilizó para identificar, a partir de la selección de píxeles automática que realiza el programa, motivos ocultos que no eran fáciles de reconocer a simple vista. A partir de esta selección se realizaron modificaciones en los colores de los píxeles seleccionados, de manera que se restauraron digitalmente las imágenes perdidas.

Por otro lado, entre los programas de edición de imágenes vectoriales los más reconocidos se encuentran Adobe Illustrator®, Corel Draw® y la opción de código abierto Inkscape®. Estos *software* son capaces de vectorizar **imágenes rasterizadas (mapas de bits)**. En el campo de la conservación y restauración esto es útil para realizar cartografías, donde se pueden mostrar los elementos de la obra de forma simplificada, por ejemplo, señalándolos con colores planos o motivos.

En el caso de imágenes creadas con sistemas de digitalización 3D la postproducción de los resultados es necesaria debido a la forma en que funcionan estas técnicas. Las digitalizaciones obtenidas por escaneado 3D como por fotogrametría dan como resultado nubes de puntos, que son conjuntos de vértices en un sistema de coordenadas X, Y y Z. Estas nubes de puntos resultan archivos muy pesados y difíciles de aprovechar para generar imágenes.

El primer trabajo de postproducción que se realiza es la limpieza de puntos defectuosos que se generan automáticamente durante la creación de los modelos. Tanto los escáneres 3D como las fotogrametrías tienen dificultades para digitalizar materiales de color negro, transparentes o superficies reflectantes como espejos. La captación de estas superficies se puede mejorar modificando la luz ambiental.

A continuación, se realiza una vectorización de las nubes de puntos para convertirlas en **mallas**. Las mallas permiten manipular de forma más eficiente archivos menos pesados. Dentro de la producción de modelos 3D existen dos tipos de mallas vectoriales, por un lado, se encuentran las mallas que trabajan con sólidos geométricos (poliedros y cuerpos redondos), y por otro se hallan las mallas triangulares que agrupan los puntos de las nubes de puntos en conjuntos de 3 y los sustituyen por planos triángulos. Los programas que procesan las fotogrametrías y escaneados 3D suelen utilizar el sistema de mallas triangulares, ya que se adaptan a las superficies y cuerpos geométricos irregulares.

Finalmente, en el caso de trabajar con modelos 3D se ha de tener en cuenta cual será el medio de representación y divulgación para el cuál se ha diseñado. Si el objetivo es incrustar la imagen en un documento impreso o un .pdf se perderá la posibilidad de rotar el modelo 3D, por lo que será necesario elegir un punto de vista y **renderizarlo**, es decir exportarlo en un formato de representación 2D.

Actualmente las aplicaciones líderes de **software** de edición están desarrollando mejoras en tecnologías de **inteligencia artificial** (AI por su sigla en inglés *Artificial Intelligence*), tanto para imágenes 2D como para modelos 3D. Desde el ámbito de la restauración este tipo de tecnologías se pueden aprovechar para realizar reintegraciones de forma automática.

4. Utilidad de los Modelos Digitales en el Ámbito Patrimonial

A partir de la descripción hecha de las tecnologías actuales de digitalización es posible realizar un análisis de la utilidad de cada sistema de representación, explorando sus virtudes y limitaciones en el ámbito patrimonial. Dentro de este campo se distingue que las representaciones pueden cumplir funciones variadas, como herramientas de estudio e investigación o como medios educativos y de comunicación.

4.1. Investigación y estudio de las obras

Los usos que se le pueden dar a los nuevos medios tecnológicos en el campo de investigación y estudio de obras patrimoniales son muy variados, en los siguientes subapartados se han categorizado como medios de investigación, estudio, documentación y conservación y restauración.

4.1.1. Investigación

Las nuevas tecnologías permiten realizar estudios más profundos de los objetos patrimoniales, y distribuir la información a investigadores de diversas partes del mundo. Internet se ha convertido en una herramienta fundamental para los estudiosos de cualquier ámbito, y se utiliza para realizar cualquier investigación científica. Sin embargo, un tema de discusión reciente entre los profesionales del ámbito patrimonial ha sido la dificultad de utilizar esta herramienta correctamente, filtrando fuentes confiables. En abril de 2021 el Comité Nacional Español del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), organizó una *Editatón* de Patrimonio Colaborativo, un evento para promover la edición, corrección y publicación de artículos sobre el patrimonio cultural en Wikipedia (una enciclopedia virtual libre muy consultada por el público en general). Para organizar este proyecto se pautaron diversas fases de intervención. En primer lugar, se brindó una formación técnica previa a los participantes voluntario. A continuación, se detectaron artículos faltantes en Wikipedia, o bien artículos publicados sin respaldo científico. Finalmente, se crearon y revisaron los nuevos contenidos para ser publicados. El proyecto prevé la formación de un equipo de trabajo permanente, que actúe en colaboración con otras instituciones, o que pueda brindarles apoyo (Patrimonio Colaborativo, s.f.).

Para utilizar los medios digitales de información, los profesionales del ámbito patrimonial deben, por un lado, como investigadores ser críticos y filtrar fuentes de información confiables y, por otro lado, como se describe en el apartado *Difusión en sitios web y redes sociales* de este mismo trabajo, han de intentar posicionar sus publicaciones en primer lugar en los buscadores *online*.

4.1.2. Estudio

Las nuevas tecnologías digitales permiten una manipulación de las imágenes que abre muchas posibilidades de estudio.

Como se ha explayado en el apartado de *Postproducción*, las fotografías se pueden editar manualmente o a través de programas específicos subiendo el contraste o aplicando filtros se pueden evidenciar aspectos de la obra que no resaltan a luz natural.

Los modelos 3D permiten observar la obra desde nuevas perspectivas y puntos de vista, y pueden ser aprovechados para realizar estudios y experimentaciones muy diversas. Este tipo de archivo se pueden insertar en programas de diseño

3D para obtener ortofotografías de las obras, que a su vez brindan una base más rigurosa para el dibujo de cartografías. Por otro lado, son muy útiles para obtener imágenes de secciones de la pieza que son físicamente imposibles de fotografiar. Este procedimiento facilita la creación de documentación de las piezas, permitiendo una medición de elementos y alteraciones que pueden ser inaccesibles *in situ*. También es posible hacer los mapeos de alteraciones directamente sobre los modelos 3D.

En caso de obras que se encuentran en estado fragmentado se puede realizar una fotogrametría de cada fragmento, de manera que una vez que el objeto se ha restaurado y adherido, aún queda a disposición la documentación del interior de la pieza. Así mismo, disponer de una imagen tridimensional de cada fragmento de la obra puede ser de gran utilidad a la hora de su reconstrucción, ayudando a ubicar las piezas digitalmente. Una reintegración o reconstrucción virtual se puede utilizar para evitar una intervención directa de la obra.

La tecnología de documentación 3D permite realizar comparaciones de diferentes momentos de una misma pieza. Actualmente existen *software* libres como CloudCompare® que identifican diferencias entre dos modelos. Estas aplicaciones han sido diseñadas originalmente para objetos de producción industrial masiva, detectando productos defectuosos, sin embargo, también se pueden utilizar para comparar el antes y después de una restauración, o para detectar nuevas alteraciones que puede haber sufrido la obra. Este uso es muy útil en caso de correos de piezas que se prestan, para realizar el seguimiento de procesos de limpieza controlando que se haya respetado la superficie del original, o para vigilar el deterioro de obras expuestas a la intemperie.

4.1.3. Documentación

Las tecnologías actuales han permitido realizar un gran avance en los procesos de documentación de piezas. Los avances más significativos consisten en el desarrollo de nuevas aplicaciones de gestión y análisis de datos.

Por otro lado, el reciente desarrollo de aplicaciones de gestión de colecciones, MuseumPlus®, permite su aprovechamiento como herramientas óptimas para el control de inventario. Este programa está diseñado para volcar de forma amigable toda la información técnica de la pieza, su artista, referencias de la bibliografía asociada, enlaces a contenidos multimedia vinculados, parámetros de conservación e historial de restauración, la información de contacto de la institución, y ofrece herramientas administrativas para la organización de préstamos, transporte y convenios entre prestamista y prestatario (Zetcom AG,

2017). Actualmente también hay disponibles aplicaciones específicas para realizar el seguimiento de datos climáticos, y facilitar tareas de conservación preventiva.

4.1.3.1. Automatizar el proceso de documentación

Una tecnología que aún se encuentra en un estado de desarrollo incipiente es el diseño de una maquinaria capaz de inspeccionar una pieza patrimonial, detectar sus características y alteraciones, y plasmarlas en un informe de forma automática. Este sistema se ha probado en casos puntuales vinculados al patrimonio cultural, pero está en un nivel de experimentación más avanzado en otros ámbitos profesionales.

Para profundizar sobre este tema se ha realizado una entrevista con el técnico informático Matthieu Descazeaux de la empresa CAR Consulting Group SL., que realiza inspecciones de vehículos automóviles. A finales de 2019 esta compañía presentó un prototipo llamado CarpodX® (CARPODX, s. f.), que realiza automáticamente el informe de daños del vehículo inspeccionado. Este informe final plasma los datos de número de referencia del vehículo, modelo, tipo de daño detectado, parte dañada y soporte gráfico.

Para el desarrollo de la máquina la compañía contrató a una empresa tercerizada especializada en construcción de prototipos.¹ El funcionamiento de esta máquina está basado en el mecanismo utilizado para detección de daños de objetos de fabricación industrial de tamaño más reducido. En determinados puntos del recorrido de la cadena de montaje se ubican cámaras fotográficas que realizan fotografías del objeto desde diferentes ángulos. Las fotografías obtenidas se comparan con un catálogo de imágenes de un objeto idéntico en buenas condiciones. Al detectar diferencias entre ambas fotografías se identifican imperfecciones, y se retira la pieza dañada de la cadena de montaje. En el caso del prototipo CarpodX, la maquinaria consiste en una cámara equipada con cámaras fotográficas que apuntan al vehículo desde diversos ángulos. Para realizar la inspección un operario debe conducir el vehículo dentro de la cámara, y conducirlo fuera al acabar el proceso.

La detección de daños de los automóviles se consigue a partir de la aplicación de 3 técnicas diferentes. Las dos primeras técnicas se basan en tecnologías de escaneado láser 3D. Por un lado, el prototipo detecta discontinuidades en la

¹ El entrevistado ha preferido mantener en confidencialidad los datos de contacto de dicha empresa.

forma geométrica, y por otro detecta las discontinuidades en el color. Una vez detectadas las discontinuidades es capaz de identificarlas como daños. Estos dos mecanismos no son útiles en el caso de piezas de patrimonio cultural, porque el hecho de que haya una discontinuidad en el color o en la forma de la pieza no quiere decir necesariamente que haya un daño, sino que pueden ser características originales de la obra.

El tercer mecanismo de detección de daños consiste en crear una base de imágenes de los modelos de los vehículos con los que trabaja la empresa, para que la máquina pueda utilizar como referencia al inspeccionar el nuevo vehículo. Al detectar diferencias entre las fotografías, la máquina identifica automáticamente los daños que presenta el automóvil. Este es el mecanismo que mejor se adapta al ámbito patrimonial, ya que se puede generar una base de imágenes del estado original o actual de una pieza, y tomar esas imágenes como referencia para la siguiente inspección de la misma obra.

El desarrollo de una maquinaria específica para la inspección automática de piezas patrimoniales merece una investigación propia, independiente de los objetivos de este trabajo final de grado. A grandes rasgos se observa que tal como está planteado este prototipo, es capaz de automatizar muchos de los estudios que realizan actualmente los conservadores-restauradores para la detección de características y alteraciones de obras patrimoniales. Mediante adaptaciones sencillas, esta maquinaria sería capaz de obtener imágenes generales y de detalle, realizar exámenes de exposición ante luz transmitida, luz rasante, luz ultravioleta, radiación infrarroja, rayos X y cualquier examen que se base o asimile a fotografiar al objeto. Por el contrario, este tipo de maquinaria no sería capaz de automatizar exámenes que requieran tomas de muestras del objeto, o contacto directo con la pieza.

4.1.4. Conservación y Restauración

En el campo de la conservación y restauración, las tecnologías descritas en este trabajo pueden resultar útiles para realizar el seguimiento de las obras, en tareas de conservación preventiva, así como en intervenciones de restauración digital, que actualmente pueden materializarse mediante impresiones, ya sea 2D o 3D, o a través de proyecciones.

4.1.4.1. Herramientas tecnológicas para la conservación preventiva

Existen aplicaciones disponibles orientadas a la recogida de datos climáticos de dispositivos *data logger*. Un *data logger* es un instrumento que puede medir, registrar y supervisar los parámetros ambientales del espacio donde está instalado (Medición, registro y supervisión con registradores de datos, s. f.). Las aplicaciones específicas de estos dispositivos generan automáticamente gráficos y tablas que permiten vigilar el entorno de las colecciones, detectar riesgos y proponer políticas de conservación preventiva (Díaz Pedregal, 2003).

Por otro lado, a nivel expositivo la digitalización de obras brinda la posibilidad de exhibir las obras dentro de sitios *web*, o mediante dispositivos de realidad virtual o **realidad aumentada**, evitando por lo tanto el contacto directo de los usuarios con las obras y actuando como una medida de conservación preventiva.

4.1.4.2. Restauración digital

Para definir la Restauración Digital es conveniente conceptualizar el término Restauración.

“La Restauración consiste en la acción directa realizada sobre el patrimonio cultural dañado o deteriorado con el objetivo de facilitar su percepción, apreciación y comprensión, respetando de la manera posible sus propiedades estéticas, históricas y físicas.” (E.C.C.O., 2002)

Una restauración digital se trata por lo tanto de una operación que devuelve al objeto su aspecto original, realizada mediante una intervención informática. Este tipo de restauraciones se salen de la definición tradicional de restauración ya que pueden o no derivar acciones directas sobre el bien cultural.

Para realizar una restauración de esta índole es necesario en primer lugar digitalizar el objeto a restaurar. En un segundo paso, utilizando un **software** de edición se reconstruye el aspecto de la pieza. Al consultar bibliografía reciente y varios casos de aplicación se observa que, a diferencia de las técnicas tradicionales, aún no existe una sistematización homologada de este proceso ya que diversos autores detallan y proponen diferentes metodologías válidas para la restauración digital. En esta instancia, el archivo generado es una restauración virtual, ya que no modifica el aspecto de la obra original.

En algunos casos la restauración digital resulta útil justamente por la imposibilidad de manipular la obra original. Esto puede ocurrir, entre otros motivos, debido a que los materiales que se buscan retirar son irreversibles, a que la obra se encuentra en un estado muy frágil para ser tratada, o debido a que el área de restauración es físicamente inaccesible.

Sin embargo, en otros casos es posible materializar la restauración digital. Los modos más habituales de materialización son la impresión digital de reintegraciones cromáticas o la impresión 3D de reintegraciones volumétricas.

La impresión digital es una tecnología que mediante un *software* informático elabora una **imagen rasterizada** y la traslada a la máquina impresora para reproducir la imagen sobre un soporte (Rojas, 2013).

Esta tecnología se continúa actualizando y mejorando hoy en día, permitiendo la impresión sobre soportes muy diversos como plásticos, metales, maderas, vidrio, cerámica, textiles y evidentemente papel (Parillo Chapman, 2019). Por otro lado, según el sistema utilizado se pueden clasificar 3 tipos de impresión principales: inyección de tinta, impresión laser y sublimación (Rojas, 2013). Las diferencias entre los sistemas enunciados se observan descritas en la siguiente tabla.

Inyección de tinta	Este sistema vierte a distancia la cantidad de tinta necesaria sobre el soporte mediante goteo. La tinta se almacena en cabezales que se transportan sobre un carro de impresión que se desplaza de derecha a izquierda, mientras el soporte se desplaza por rodillos alimentadores. Existen en el mercado diversos tipos de tintas a base de diferentes solventes, como por ejemplo tintas a base de agua, tintas a base de látex, "tintas solventes", "tintas UV" y "tinta sólida".
Impresión laser	Utiliza un haz de luz laser, que atraviesa un depósito denominado tóner, que contiene tintas de color en formato de polvo fino o líquido. Al atravesar el tóner, el láser atrae las partículas de la tinta y las adhiere al soporte mediante un proceso electroestático que se denomina magnetografía. Las tintas se fijan mediante aplicación de calor y frío.
Sublimación	La impresión se realiza sobre una película plástica que se aplica sobre el soporte elegido. La tinta de color se aplica con calor sobre la película, de forma que se vaporiza y esparce. La aplicación de mayor o menor temperatura regula la intensidad del color.

La elaboración de esta tabla se realizó basada en el contenido del libro electrónico *Preparación y Ajuste de la Impresión Digital* (Rojas, 2013).

Una vez impresa, la reintegración se puede aplicar sobre la laguna a restaurar. La elección del sistema de impresión y del soporte más adecuado para realizar una reintegración cromática estará determinada por las condiciones particulares de la pieza que se quiera restaurar. La exalumna Cristina Navarro Miguel ha dedicado su Trabajo Final de Grado, *Restauración Cromática Digital en Obra Gráfica* (2016), a la investigación de este tema. Este trabajo se puede consultar en el depósito digital de la Universitat de Barcelona para profundizar sobre el funcionamiento de la impresión digital.

Por otro lado, para materializar reintegraciones volumétricas se puede utilizar la tecnología de impresión 3D. Según el sitio *web* de Autodesk® empresa líder mundial en *software* de diseño 3D, la impresión 3D consiste en la producción de objetos mediante la superposición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D.

Otra forma de fabricar modelos a partir de un modelo 3D digital es utilizar una fresadora. A partir de un cubo del material elegido la fresadora elimina y desbasta el material hasta obtener el modelado. Es posible fresar diversos materiales como maderas, piedras blandas como el alabastro, resinas de poliéster, de poliuretano, epoxídicas y acrílicas (Santos-Gómez et al., 2018).

Estas técnicas son capaces de generar piezas con morfologías complejas por lo que resultan muy versátiles.

En el ámbito de la restauración, la impresión de modelos 3D es útil para la reproducción de modelos y facsímiles, reintegraciones, o para el diseño de sistemas expositivos y soportes a medida a partir de la impresión del negativo del modelo. También puede ser una herramienta adecuada para el diseño de sistemas de transporte de obras a medida.

Entre los materiales más utilizados en el ámbito de la conservación y restauración, es posible realizar impresiones 3D de escayola, resinas acrílicas, resinas ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), resinas PLA (ácido poliláctico) y cemento (Santos-Gómez et al., 2018).

Otro uso frecuente de esta tecnología consiste en la reproducción de una obra de tamaño monumental mediante la impresión 3D de prototipos o maquetas a escalas más pequeñas. Estas impresiones se pueden manipular con mayor facilidad que la obra original y permiten realizar pruebas de sistemas de exhibición o soportes sin necesidad de movilizar piezas de gran formato.

La amplia gama de materiales disponibles permite generar piezas más ligeras o pesadas según sea necesario. Algunas impresoras también permiten regular la porosidad de la impresión, lo cual aumenta la versatilidad y posibilidades que ofrecen los modelos generados.

También se debe contemplar la posibilidad de combinar la impresión de modelos 3D con una manipulación posterior de la pieza. Por ejemplo, es frecuente combinar la impresión de piezas 3D con su posterior fundición. Un ejemplo de este tipo de trabajo en el ámbito patrimonial ha sido la restauración del conjunto escultórico *Los Portadores de la Antorcha*, de la Ciudad Universitaria de Madrid.

En este caso debido a la pérdida de un elemento de la escultura se utilizó la tecnología de escaneado 3D y fotogrametría para sustituir la pieza (Santos-Gómez et al., 2018). En concreto, el elemento que se perdió fue la antorcha del conjunto. En una primera instancia, se planteó la posibilidad de escanear obras similares de la artista, ya que esta había creado varias copias de *Los Portadores de la Antorcha*, en diversos materiales, pero morfológicamente muy parecidas. Sin embargo, el escaneado 3D de sus piezas hermanas finalmente se descartó debido a que se detectó que las antorchas de las otras esculturas que se conservan tampoco son las antorchas originales, sino que posiblemente son elementos que también fueron robados y que se tuvieron que reemplazar. Al comparar la documentación fotográfica disponible de la pieza, se evidenció que las reintegraciones realizadas en los otros conjuntos no son del todo fieles morfológicamente a la antorcha original. Por este motivo, los restauradores de la obra decidieron utilizar como referencia las fotografías disponibles de la obra original para generar manualmente un modelo 3D que se imprimió en la escala adecuada. El modelo 3D se realizó manualmente en un programa de diseño 3D ya que no se disponía de suficientes fotografías para procesar una fotogrametría. En este caso el modelo se realizó por fresado, y se generaron por separado la parte de la llama y el mango de la antorcha. Ambas partes se adhirieron con resina de poliuretano. Posteriormente se trabajó de forma manual la textura final de la pieza con un microtorno. Del modelo conseguido se realizó un molde, del que posteriormente se sacó una copia con un material que imitaba la apariencia del material original.



Fig 17. Escultura Los Portadores de la Antorcha. Monumento de Anna Hyatt Huntington. Plaza Ramón y Cajal. Universidad Complutense de Madrid (España), donde se observa la antorcha robada, sostenida por los dos personajes representados. (Los portadores de la antorcha - 11.jpg., 2020)

Otro mecanismo para materializar una restauración digital es mediante la **proyección** de la imagen restaurada sobre la obra original. Para realizar este tipo de intervención se han de tener en cuenta las características de la obra, y se ha de evaluar la compatibilidad de los materiales originales ante la intensidad lumínica de las proyecciones de luz a las que serán sometidas. Este tipo de intervención está siendo explorado en la actualidad sobre obras arquitectónicas, donde se busca restaurar una pintura mural perdida total o parcialmente.

Un caso donde se aplicó este tipo de restauración fue la restauración digital de la pintura del ábside de la iglesia *Sant Climent de Taüll*, del municipio Valle de Bohí en Lérida, Cataluña. El ábside de esta iglesia estaba decorado originalmente con una pintura románica realizada al *fresco*, que fue comprada por la *Junta de Museus* entre los años 1919 y 1923, y trasladada a Barcelona para evitar su expropiación (Mateos Rusillo y Gifreu Castells, 2014). La obra, que actualmente se encuentra en el Museo Nacional de Arte de Cataluña (MNAC), se conserva casi totalmente, aunque presenta algunas lagunas.

Sobre los restos originales de pintura que quedaron luego del arrancamiento se realizó una copia artística de la pintura original, encargada al artista Ramón Millet entre los años 1959 y 1961. Finalmente, en el año 2009 se impulsó el proyecto de restauración *Taüll 1123* (denominado así por la datación de la pintura original) como parte del programa cultural *Programa de restauración y mejora Románico abierto*, gracias a la colaboración entre la *Generalitat de Catalunya* y la *Obra Social "la Caixa"*.

Esta copia fue retirada por un equipo de conservadores-restauradores para diseñar y proyectar la restauración digital. Tanto la copia de Millet, como las capas profundas de pintura original halladas durante el proceso fueron documentados extensamente.

Para restaurar la obra se realizó un **video mapping**, una animación proyectada sobre el ábside que permite visualizar la obra como se encuentra actualmente *in situ*, una imagen de la obra arrancada que actualmente se encuentra en el MNAC, y una reconstrucción hipotética de cómo podría ser la obra originalmente, reintegrando todas sus lagunas.

Para la construcción del *video mapping* se creó un modelo 3D del ábside, utilizando un escáner 3D de largo alcance. El escaneado obtuvo una **nube de puntos** de 8 millones de puntos, con una distancia entre ellos de cada 2 mm, a partir de la cual se generó una malla de alta resolución. A partir de este modelo 3D se generó un modelo 3D de menor resolución, sintetizando los pliegues más precisos del modelo que no resultaban relevantes para construir la proyección. El modelo 3D se desplegó digitalmente en un modelo 2D, creando una plantilla para los ilustradores. La animación fue diseñada en Adobe Premier® por un artista digital, asistido por un arqueólogo e historiador para realizar una reintegración históricamente rigurosa de las lagunas pictóricas (Romànic Obert, 2014). Actualmente la animación se transmite de forma sincrónica por 6 proyectores, y que mediante *warping* se calibraron para encajar cada punto de la imagen en su sitio (Mateos Rusillo y Gifreu Castells, 2014). El *video mapping* tiene una duración de 9 minutos y medio y se reproduce 6 veces al día, todos los días de la semana (ConSORCI Patrimoni Mundial de la Vall de Boí, s.f.).

El resultado de esta restauración es un producto audiovisual que resulta emocionante para los visitantes, que logra incrementar el valor del espacio patrimonial de un sitio que forma parte del patrimonio mundial reconocido por la UNESCO (UNESCO World Heritage Centre, s. f.), y comparable a la experiencia de visitar la obra original expuesta en el MNAC. No obstante, al visualizar la animación con conocimiento de la técnica de pintura al *fresco*, se observa que la

animación es imprecisa, y que no demuestra el modo de hacer de una pintura de este tipo, sino que fue diseñada como un contenido visualmente atractivo y entretenido.



Fig 18. De izquierda a derecha se observa la copia artística de Ramón Millet, el estado actual del ábside, la proyección del *video mapping* que muestra una copia digital de la obra tal como se observa actualmente en el MNAC, y la restauración digital final. (BURZON*COMENGE & PLAYMODES, s. f.-b).

Para profundizar sobre posibles incompatibilidades de esta técnica de restauración con la conservación de la obra se consultó a la conservadora-restauradora encargada del proyecto de retirada de la pintura de Millet y de documentación de la obra, Mercè Marqués. Si bien las emisiones de luz de los proyectores no afectan a la pintura mural al *fresco*, ya que es una pintura mineralizada e inerte, sí es posible que afecten a otros sectores de la pintura acabados al *secco*. No se ha estudiado la composición de estos estratos, y es posible que estén compuestos por un aglutinante de origen orgánico como aceite o huevo, por lo que pueden verse afectados por las emisiones U.V. que generen los proyectores.

La conservadora-restauradora también evidenció que durante el proyecto se priorizó la construcción del *video mapping* antes que la conservación de los restos originales. Se solicitó a los restauradores que igualaran todas las irregularidades de la superficie mural, para favorecer una buena **proyección** audiovisual, sin darle importancia a tapar fragmentos de pintura original. Por otro lado, la restauradora comenta que se logró conocer y documentar muy bien la obra original, y remarca de que esta información no se ve reflejada en la animación final.

4.1.4.3. Ejemplo de reintegración pictórica a partir de la herramienta “Rellenar según contenido” de Adobe Photoshop®

Para evaluar la capacidad de las tecnologías disponibles de reintegración **virtual** se ha ejecutado un caso práctico donde la misma pieza se intervino dos veces, la primera mediante las técnicas convencionales y luego utilizando herramientas digitales.

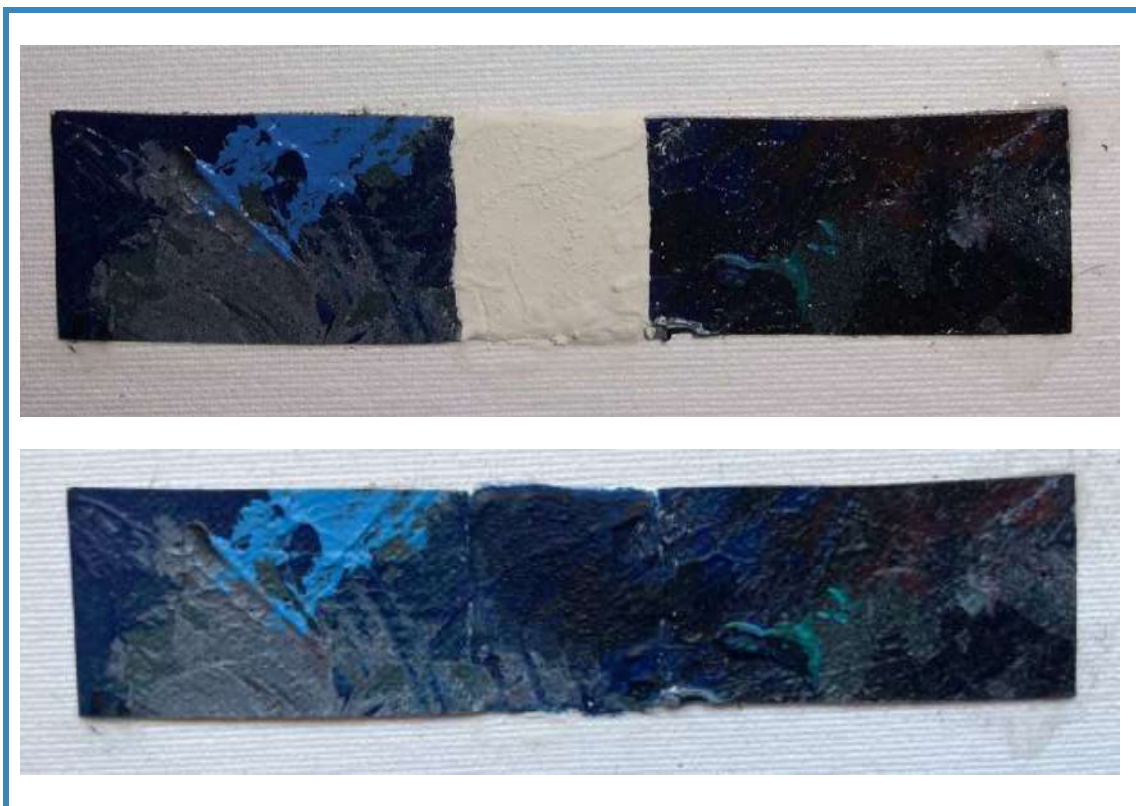


Fig 19-20. Imagen superior, pieza antes de realizar la reintegración cromática. Imagen inferior pieza después de la reintegración cromática

La pieza tratada es un simulacro de obra pictórica, proporcionado por la conservadora-restauradora Marta Oriola, docente del grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad de Barcelona, durante la asignatura *Tratamientos Aplicados a los Bienes Culturales V* del grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad de Barcelona. El simulacro consiste en un fragmento de pintura realizada sobre un soporte de tela rectangular, con una pérdida de aproximadamente 2cm². Para realizar la reintegración siguiendo la técnica tradicional se realizó un estucado

con carbonato cálcico, cola de conejo y agua, imitando miméticamente la textura de la obra original. La reintegración pictórica se realizó con acuarelas.

Para realizar la reintegración digital se utilizaron las fotografías disponibles de la pieza antes de la reintegración pictórica. La imagen se importó al programa Adobe Photoshop®, donde se utilizaron las herramientas “Lazo magnético” para seleccionar el área a restaurar, y “Rellenar según contenido” para generar automáticamente una reintegración.

La selección de los píxeles a reintegrar se realizó utilizando el “Lazo magnético” ya que esta herramienta permite dibujar rápida y manualmente la selección, lo cual resultó conveniente ya que durante la intervención se apreció que se obtienen mejores resultados al seleccionar un pequeño perímetro de píxeles correspondientes a la obra original.

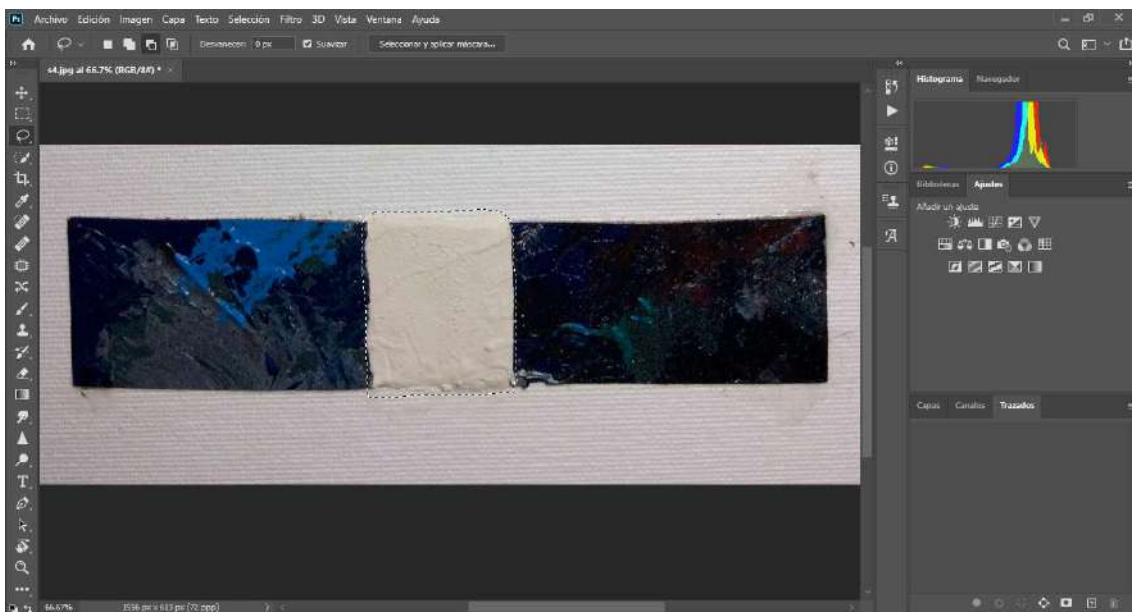


Fig 21. Selección del fragmento a reintegrar utilizando la herramienta Lazo magnético

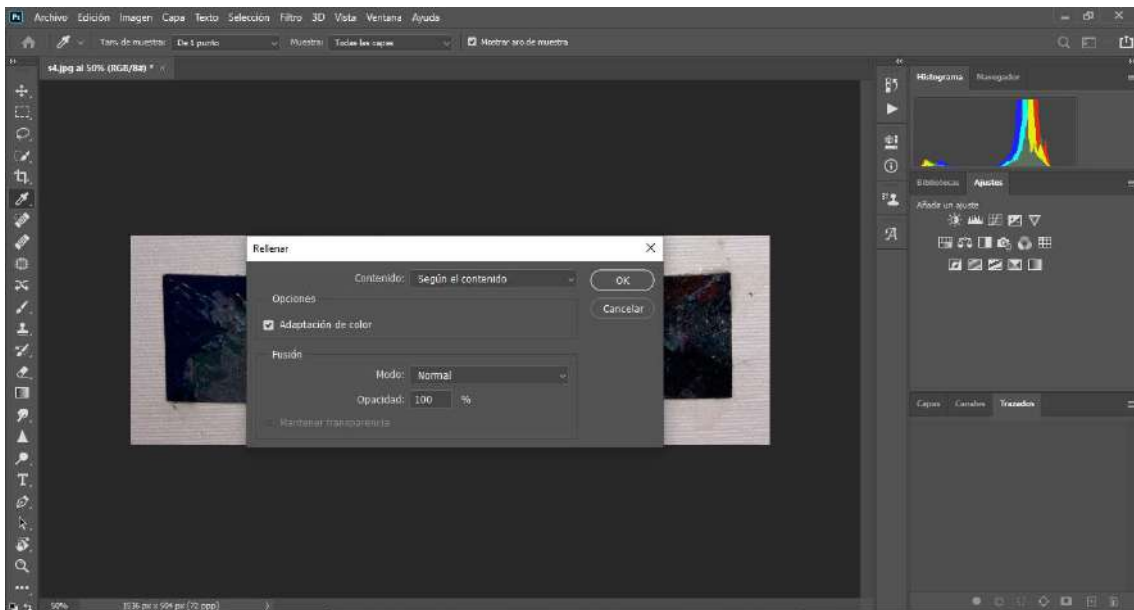


Fig 22. Aplicación de la herramienta de edición “Rellenar”, aplicando la opción “según el contenido”.

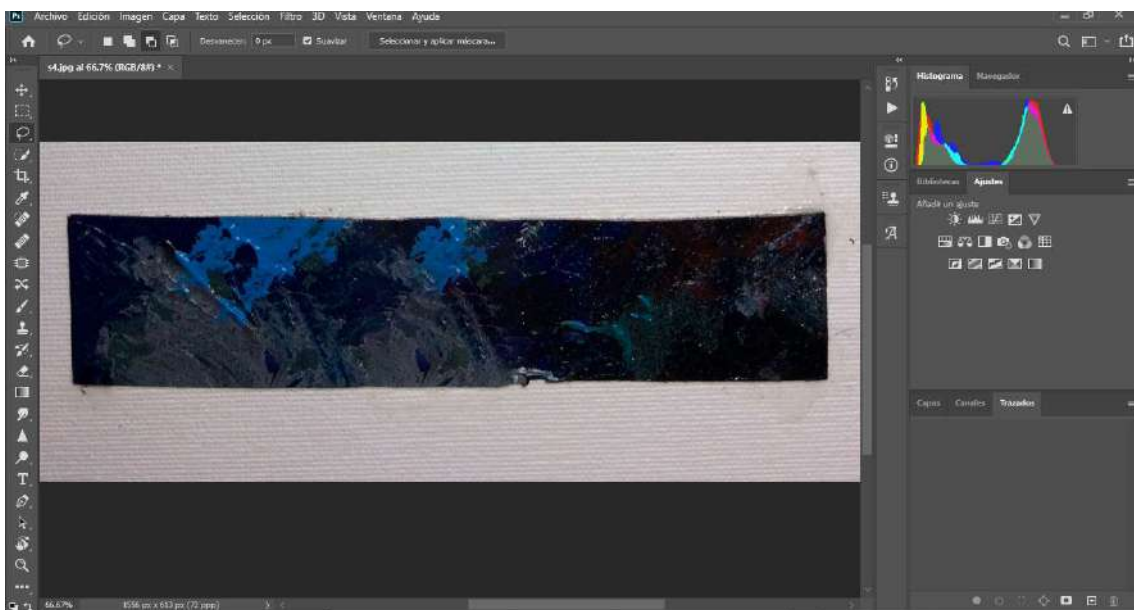


Fig 23. Resultado final de reintegración digital



Fig 24-25. Imagen superior, reintegración digital. Imagen inferior, reintegración mimética con acuarelas sobre estucado.

A partir de la realización de este caso práctico se evidencia que la reintegración digital es capaz de obtener muy buenos resultados en un tiempo de trabajo insignificante respecto a la cantidad de tiempo que se requiere para ejecutar la reintegración tradicional, y se está optimizando la tecnología de inteligencia artificial que será capaz de reconstruir las imágenes con mayor fidelidad aún.

4.2. Educación y comunicación

Dentro de la industria del entretenimiento del siglo XXI están en auge las tecnologías interactivas, como plataformas para interrelacionarse en *streaming* con otros usuarios (García Martín, 2012). Un referente es la empresa líder en difusión de contenidos audiovisuales, Netflix Inc., que en los últimos años ha producido películas interactivas donde se habilita al espectador a decidir sobre

la trama del *filme*. Estos avances en el mundo del entretenimiento afectan a los formatos de exposición de obras patrimoniales ya que el público se adapta y demanda la implementación de formatos interactivos en los espacios museos.

“Si el siglo XX se caracteriza por la revolución audiovisual del cine y la televisión, podemos aventurarnos a considerar que el Siglo XXI será el siglo de la interactividad y la interconexión, será el siglo del medio audiovisual y de los videojuegos.” (García Martín, 2012).

Como ocurrió en el siglo XX con los medios audiovisuales, el ámbito cultural también se apropia de medios interactivos que se originaron como mecánicas de entretenimiento popular de masas. Otro campo que se ha tomado como referente para la elaboración del discurso museográfico son los juegos y videojuegos. Aunque estos se han relacionado convencionalmente con un pasatiempo ocioso, para un público juvenil, algunos estudios antropológicos recientes están reconociéndolos como integrantes de la cultura humana (García Martín, 2012).

Originalmente lo **digital** se asociaba a lo **virtual** ya que no existía la posibilidad de materializar la información almacenada digitalmente. No obstante, las tecnologías disponibles de piezas digitales actualmente permiten la creación de nuevos formatos expositivos, como la divulgación mediante **un sitio web** o **redes sociales**, o el uso de modelos 3D para impresión de facsímiles, creación de experiencias inmersivas como los **video mappings**, experiencias de realidad virtual y de **realidad aumentada**.

Los formatos digitales resultan atractivos para el público más joven y permiten la exhibición de la información de una forma interactiva, amigable y didáctica. Actualmente un tema de debate es si los medios digitales son capaces de competir con los museos físicos (Deloche, 2005). En sí mismas, las imágenes digitales no son la competencia, sino que son elementos complementarios que se exhiben también en los museos físicos acompañando a las obras. Sin embargo, los medios como la *web* o la televisión sí que rivalizan contra las instituciones museo ya que ahora son los agentes con el poder de difundir conocimientos que se convierten en centros educativos de difusión.

Se ha de entender que los medios digitales no buscan reemplazar al museo físico, sino que son una herramienta que complementa el conjunto de recursos museísticos disponibles que se deben tener en cuenta y aprovechar.

4.2.1. Difusión en sitios *web* y redes sociales

Cada día hay una mayor divulgación de las colecciones a través de internet, a pesar de que muchos centros aún muestran recelos en compartir sus obras. Esta reticencia deriva de la precaución en impedir que algunos usuarios hagan un uso indebido de la información del patrimonio. Una medida frecuente de protección por parte de algunas instituciones que comparten sus obras es compartir imágenes de baja resolución y moderar la información que difunden sobre la pieza. Sin embargo, la desconfianza ante la divulgación de obras puede perjudicar a las propias instituciones y a los usuarios de la red. En la actualidad se tiene en cuenta que el patrimonio debe estar disponible al público para promover su uso como fuente de inspiración para nuevas creaciones, y se busca favorecer su reutilización en todos los ámbitos, desde el ámbito científico y de investigación, el ámbito educativo y también el ámbito artístico (Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura, 2020).

“Hoy en día podemos decir que quien no está en Internet no existe, o en breve no existirá, el mundo de los museos lo sabe y es por eso que, cada vez más, se utiliza como canal privilegiado para la difusión, estudio y promoción de sus fondos.” (Areces, 2005).

Se ha detectado que la toma de contacto **virtual** con la obra mediante publicaciones en línea es un buen estímulo para promover la visita a la obra (Rodríguez Silgo, 2015). Sin embargo, la creación de contenidos y su publicación no son una tarea sencilla, y puede requerir una cierta infraestructura y profesionales especializados en Ciencias de la Comunicación. Es importante que el proceso de carga de información a la red se realice de forma organizada, para garantizar que el público pueda encontrarla y que se utilicen estrategias de posicionamiento de búsqueda (en inglés *Search Engine Optimization* SEO).

En el marco del confinamiento debido al brote pandémico del virus COVID-19, el Consejo Internacional de Museos (ICOM) en colaboración con Google Arts and Culture© han publicado indicaciones de cómo realizar la tarea de difusión a través de la **web** y **redes sociales** correctamente (ICOM & Google Arts and Culture, 2021). Estas estrategias de buenas prácticas consensuadas para esta circunstancia particular también pueden resultar útiles para la exposición virtual de obras y contenidos en cualquier caso en el que no se pueda acceder

físicamente al espacio museo o a la obra en concreto, por ejemplo, si la obra se retira por tratamientos de restauración, o si es prestada a otra institución.

*“Un **sitio web**, portal o cbersitio es una colección de páginas web relacionadas y comunes a un dominio de internet o subdominio en la World Wide Web dentro de Internet.” (Sitio web, 2018)*

*“**red social** Página web en la que los internautas intercambian información personal y contenidos multimedia de modo que crean una comunidad de amigos virtual e interactiva.” (Oxford Languages, s.f.)*

Para realizar una buena difusión de contenidos en primer lugar se ha de identificar a que público se dirigen. En función del público se podrá seleccionar cual es el medio de transmisión que mejor se adapte a él. Diferentes plataformas ofrecen distintos recursos y herramientas que pueden ser más atractivos para un público u otro.

En el último año la publicación de obras digitalizadas se ha promovido mucho, permitiendo la organización de exhibiciones virtuales (*Digital and hybrid events*, 2020). Los medios virtuales permiten agrupar y exponer juntas obras siguiendo un discurso museográfico. En este sentido, la organización es similar a la organización necesaria para presentar una exhibición en una sala física, con la ventaja de que en el caso de una exposición digital se pueden exponer juntas piezas con necesidades de conservación preventiva diferentes. Este recurso se puede aplicar en el *sitio web* de la institución, o a través de redes sociales que ofrecen la herramienta de crear y compartir colecciones de imágenes como Pinterest®.

Las redes sociales Facebook® e Instagram® son especialmente útiles para compartir contenido en vivo. Diversas instituciones utilizan este recurso para organizar *tours* virtuales, guiados por diversos profesionales del ámbito museístico y otros invitados. Este recurso también está siendo explotado para recorrer espacios del museo que normalmente no son visitables, como los laboratorios de conservación y restauración, y para transmitir de forma sincrónica desde diferentes espacios, permitiendo por ejemplo exhibir dos obras que se encuentran en museos diferentes, y establecer vínculos entre ellas. Estas aplicaciones además permiten la interacción en directo con los usuarios a través de herramientas de *chat* y comentarios.

Otros medios populares para compartir información como historias cortas son los hilos de Twitter®, en formato escrito, y los *podcasts*, en formato auditivo.

Existen también plataformas específicas para compartir modelos 3D, como son Sketchfab® o Cesium Ion®.

Otras plataformas están dedicadas al público académico, y resultan útiles para compartir casos de estudio e investigaciones en ámbito escolar y universitario.

Los perfiles de las plataformas utilizadas deben estar actualizados para mantener disponible la información relevante del museo y mantener una conexión con el público. Las redes sociales además ofrecen otras herramientas para mantener a los usuarios atentos a nuevas publicaciones y permitirles interactuar de forma dinámica y lúdica con los contenidos.

Las herramientas administrativas que ofrecen las plataformas de las redes sociales son información estadística de la interacción de usuarios con el contenido publicado, y opciones de generar fuentes de ingresos económicos mediante venta de productos y donaciones de parte de los usuarios.

La gestión de los contenidos es una tarea muy compleja, y en este apartado solo se ha podido reflejar su funcionamiento a grandes rasgos. Frente a la competencia que se genera con contenidos que publican otros usuarios de internet, es importante que las instituciones oficiales que salvaguardan el patrimonio cultural y se ocupan de su difusión apliquen estrategias activas para posicionar sus contenidos en primer lugar en los buscadores en línea (Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura, 2020).

4.2.2. Uso de modelos 3D como objetos expositivos

A nivel social, los públicos que visitan las salas de exposición cada vez son más demandantes de las tecnologías 3D. Hoy en día los dispositivos móviles y ordenadores que se comercializan son suficientemente potentes para poner estas tecnologías a disposición de las masas. La **realidad aumentada** se utiliza frecuentemente en redes sociales, y, por ejemplo, el sistema operativo Windows 10 incluye un visor estándar de archivos 3D y un programa un programa básico de modelado 3D, Paint 3D ® (Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura, 2020).

Actualmente existen varios formatos de archivo que se adaptan mejor al sistema expositivo del modelo digital. Los más comunes se reflejan en la tabla a continuación:

Formato	Sistema expositivo
.obj,.glb	Modelos 3D digitales
.stl	Impresión 3D
.usdz	Realidad Aumentada y Realidad Virtual

4.2.2.1. Realidad Aumentada y Realidad Virtual

Se denomina **realidad aumentada** (AR por su sigla en inglés *Augmented Reality*) a cualquier tecnología que inserta objetos digitales en el mundo real. La metodología utilizada más frecuentemente para la inserción de imágenes digitales en el espacio real es a través de cascos o gafas de realidad aumentada, pero también se pueden realizar estas intervenciones a través de dispositivos móviles (Mohn, E., 2019). También es posible introducir elementos digitales en el espacio real mediante proyecciones de dos dimensiones, y **hologramas**, una técnica de reproducción de imágenes que permite una reconstrucción tridimensional del objeto (Flynn, 2020). Algunos modelos de AR también incluyen reproducción de sonidos.

El inicio del desarrollo de la tecnología de **realidad aumentada** estuvo vinculado a su introducción en el campo del entretenimiento para su uso en videojuegos. No obstante, grandes empresas como Google®, Apple © y Microsoft © están invirtiendo en la mejora de estas tecnologías y promueven proyectos de investigación para su implementación en otros campos.

Algunos desafíos a los que se enfrentan los proyectos de mejora de esta tecnología son disminuir el tamaño de los dispositivos que se utilizan para la visualización de las imágenes (por ejemplo, desarrollo de dispositivos que se utilicen como lentillas); la mejora de la integración de las imágenes virtuales y la realidad para que la reproducción sea verosímil para el usuario y la disminución de los precios de la tecnología para que sea accesible al público general.

La **realidad virtual** (VR por su sigla en inglés *Virtual Reality*) utiliza una tecnología semejante a la de la realidad aumentada, pero en lugar de insertar un elemento digital en el mundo real crea una simulación de un ambiente o mundo virtual que reemplaza totalmente la percepción del mundo real mediante una experiencia inmersiva (Meinhold, 2020).

Para crear una experiencia de realidad virtual realista se requieren dispositivos rápidos, con procesadores y tarjetas gráficas muy potentes, además de un **software** específico. También se requieren dispositivos **periféricos de entrada** y

de salida que son más sofisticados de los que se utilizan habitualmente. Los **periféricos de entrada** son aquellos que captan la información introducida por el usuario, en el campo de la realidad aumentada se suelen utilizar guantes hápticos, mandos tipo *joysticks*, mandos con detector de movimientos, caminadoras, reconocedores de voz y biosensores. Dentro de los **periféricos de salida** que se utilizan para presentar la realidad virtual al usuario se encuentran cascos de realidad virtual, pantallas y proyectores.

Dentro del ámbito educativo se ha detectado que cuantos más sentidos están involucrados en el proceso de aprendizaje, mejor se interiorizan los conocimientos (Meinhold, 2020). En el ámbito del museo a través de la realidad virtual el usuario es capaz de interactuar con las obras de arte y de participar en hechos históricos en primera persona. Aunque los sistemas de representación artísticos clásicos tienen recursos para generar experiencias inmersivas, normalmente el usuario no tiene permitido interactuar con las piezas materiales. Por el contrario, las obras de arte creadas a partir de sistemas de realidad virtuales son compatibles con la interacción del usuario, y en muchas ocasiones los artistas buscan una intervención de los visitantes en sus obras.

Un caso en el que decidió aplicarse la tecnología de realidad virtual fue para el diseño de exposición de la Cueva de Santimamiñe, en la localidad vizcaína de Cortézubi, País Vasco. Estas cuevas albergan unas pinturas rupestres que se estaban deteriorando por las visitas del público, por lo que en el año 2008 se sustituyó la visita presencial por la visita virtual.

Al elegir el sistema expositivo ya existía el antecedente de las Cuevas de Altamira, caso en el que se optó por construir una maqueta en escala 1:1 de las cuevas originales. Este sistema se descartó en el caso de Santimamiñe por la carencia del espacio físico para la maqueta, y debido a las dificultades que implicaba la reproducción exacta de ciertas áreas de la cueva. También se tuvo en cuenta que los formatos digitales permiten una mayor difusión, que las técnicas de escaneo láser y fotogrametría dan resultados más fiables y precisos que un tratamiento artístico tradicional de una maqueta física, y que los costes de producción del modelo digital eran inferiores a los de la maqueta (Mayo, 2008).

Para la creación del recorrido virtual se desarrolló un guion de contenidos, seleccionando 80 elementos de interés expositivo. Para cada elemento se creó contenido multimedia elaborado por expertos.

La creación del modelo digital fue un reto tecnológico para la fecha en la que se realizó el proyecto. El escaneado final de la cueva generó una **nube de puntos** de 5200 millones de puntos. Para la generación de la nube de puntos se subdividieron 200 lugares de referencia de la cueva, digitalizando 26 millones de puntos en cada uno. Para la aplicación de texturas al modelo digital se capturaron 1500 fotografías en la cueva. Por otro lado, incorporaron en el modelo los contenidos multimedia de los elementos de interés seleccionados. Se registraron más de 50 pistas de sonido ambiental obtenidos en la cueva para incluir en la experiencia de realidad virtual, y se iluminó el modelo virtual simulando la iluminación de la cueva.

Por otro lado, se programó una **aplicación** específica de realidad virtual para que el usuario interactuara con los contenidos. Para el desarrollo de este **software** se esquematizaron las funciones que debía cumplir, dividiendo los procesos de programación.

Mediante la sustitución del recorrido de la cueva original por un recorrido virtual se consiguen los objetivos de conservación y disminución de la explotación turística. El artículo *La tecnología de realidad virtual al servicio de la comunicación y difusión de la Cueva de Santimamiñe* asegura que se mantiene el realismo y que el público “disfruta de la visita virtual, le resulta espectacular” (Mayo, 2008). Sin embargo, esta publicación no se plantea la dificultad de mantener actualizadas las tecnologías utilizadas, ni contempla los gastos necesarios de mantenimiento de estos productos. Al visualizar el modelo digital hoy en día, este presenta un aspecto un poco obsoleto.²

² Se pueden observar fragmentos de la experiencia virtual en Virtualware. (2009). *Virtual Caves - Santimamiñe* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6dUvdHZTRMs>

5. Uso de la fotogrametría en la documentación de obras patrimoniales: dos casos prácticos

La tecnología de la fotogrametría se ha vuelto tan accesible que cualquier público puede realizar por su cuenta fotogrametrías utilizando sus dispositivos móviles.

Para explorar las posibilidades y limitaciones que ofrece la digitalización de obras para su conservación y su restauración se han realizado dos fotogrametrías de elementos patrimoniales morfológicamente diferentes, que requieren una planificación diferente de la estrategia fotográfica. Se seleccionaron un fragmento de muralla romana de Barcino, que solamente requiere fotografías frontales, y una pequeña escultura de un busto redondo, que requiere un sistema de captura de fotografías a 360°. Las siguientes

fotogrametrías se realizaron siguiendo las sugerencias de la publicación *Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales* por Aleix Barberà Giné (2017) y las pautas de la guía didáctica *Desperta el Patrimoni*. La actividad *Desperta el Patrimoni* fue un proyecto desarrollado por Còdol Educació para la Agencia Catalana del Patrimonio Cultural en el marco de las Jornadas Europeas de Patrimonio 2020. Es un manual apto para todo público, que promueve la creación y publicación de fotogrametrías de obras patrimoniales, utilizando los dispositivos domésticos.

Es recomendable utilizar un ordenador con un procesador relativamente potente y una buena tarjeta gráfica. En este caso se utilizó un ordenador con un procesador Intel® Core i7 de 10ª generación, y una tarjeta gráfica Nvidia® GeForce MX130. Las capturas fotográficas se realizaron con la cámara gran angular de un móvil iPhone 12 Pro, que tiene apertura focal f/1,6.

5.1. Fotogrametría de sector de muralla romana de Barcino

La muralla romana fue la primera muralla que se construyó en el territorio de la actual ciudad de Barcelona, datada entre los siglos I y IV d.C. con el objetivo de cumplir una función defensivo-militar. La muralla original tenía una longitud total de 1135 m, y se alzaba alrededor de la ciudad. Esta construcción tenía una altura media de 9 m y un grosor de 2 m. Sin embargo, hacia el siglo III d.C. se tomó la decisión estratégica de reforzar la construcción, yuxtaponiendo una nueva cara exterior, que aumentó su grosor a 4 m. Con esta reforma, que es la que se observa actualmente, se construyeron 76 torres, las cuales miden entre 7 y 17 m de altura. Las torres tienen una amplitud frontal que varía entre 4,5 y 6,5 m; y se observa que todas se construyeron enrasadas en la parte interna de la muralla, y sobresaliendo aproximadamente 3 m por el exterior (Ajuntament de Barcelona, s. f.-b).

El desarrollo de la ciudad provocó que la muralla romana quedara oculta por nuevas construcciones, y que algunos fragmentos fueran destruidos.

Finalmente, durante los derribos realizados para la apertura de la calle Vía Laietana a principios del siglo XX se redescubrió un tramo de 75 m de la antigua muralla. A partir de este descubrimiento comenzaron las obras para su recuperación y puesta en valor. El proyecto de restauración de la muralla fue dirigido en aquel entonces por el arquitecto Adolfo Florensa, quien decidió realizar las reintegraciones volumétricas con ladrillos, rebajar los pavimentos

hasta el nivel primitivo de la muralla y abrir calles y plazas siguiendo el contorno de la muralla, para que quede a la vista (Florensa, 1953).

Actualmente los materiales que se observan en la muralla son sillares de roca arenisca de Montjuic, mortero de unión de los sillares, ladrillos cerámicos (reintegraciones volumétricas) y mortero de unión de los ladrillos.

Debido a la gran extensión de la muralla, se seleccionó sólo un sector de esta para realizar la fotogrametría. En particular, el sector que he seleccionado pertenece al tramo redescubierto durante la reapertura de Vía Laietana, y se trata de una fachada de una de las torres de la muralla. Se decidió documentar un fragmento de muralla que se observa desde la Plaza de Ramón Berenguer el Grande, ya que la conservación de este fragmento es buena, es accesible al público y debido a que este fragmento ya se había documentado en 2019 durante el curso de la asignatura Geología y Biología de los Bienes Culturales, del grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universidad de Barcelona.

Para documentar la muralla en 2019 se hizo una ortofotografía a partir de una sola fotografía, capturada con una cámara Nikon D2700, y editada mediante el programa Adobe Photoshop® para corregir la deformación de la perspectiva.

El objetivo de realizar la fotogrametría del mismo fragmento es comparar los resultados de ambos sistemas de representación gráfica.

Para realizar las capturas fotográficas para la fotogrametría se escogió un día nublado ya que la luz difusa ilumina de forma homogénea la superficie, evitando distorsiones en el resultado final. Se dividieron visualmente 3 niveles de la torre, que se fotografiaron formando 3 franjas de fotografías. Se procuró que entre fotografías hubiera un solapamiento de imagen que permita al [software](#) realizar el procesamiento de la fotogrametría. Todas las imágenes se captaron desde el nivel del suelo.

Se utilizó el [software](#) de código abierto 3D Zephyr Free® en su versión 5.019 para procesar la fotogrametría. El modelo 3D se generó en aproximadamente 15 minutos. Cabe mencionar que se realizaron alrededor de 65 fotografías, pero la versión gratuita del programa utilizado solo permite introducir hasta 50 imágenes, por lo que se descartaron al azar algunas de las fotografías realizadas *in situ*. Es posible que al descartar 15 fotografías se haya perdido el solapamiento de imágenes de algunos sectores.

El resultado final presenta huecos vacíos. No queda claro si estos huecos se produjeron por la falta de solapamiento entre imágenes, o bien si se debe a la reflectancia de los materiales que se encuentran en estos fragmentos.

A través de la comparación de ambas imágenes se observa que las dos consiguen un buen nivel de detalle del objeto, sin embargo, la ortofotografía realizada a partir de la fotogrametría consigue representar el objeto sin deformaciones de perspectiva, y con una iluminación más homogénea.



Fig 26-27. A la izquierda se observa la ortofotografía realizada a partir de una única fotografía en 2019. A la derecha se observa la ortofotografía capturada a partir del modelo fotogramétrico realizado en 2021

5.2. Fotogrametría de escultura de busto redondo

En primer lugar, se eligió un objeto para ser digitalizado. En este caso se seleccionó una escultura de bulto redondo de pequeñas dimensiones. La escultura es un busto de Leonardo da Vinci, de 15 cm de altura.



Fig 28. Imagen general anverso del busto de Leonardo da Vinci.



Fig 29. Imagen general reverso del busto de Leonardo da Vinci.

La base del busto está compuesta por un pedestal gris oscuro de 4 cm de altura. El pedestal tiene una forma que imita un pedestal clásico, tiene un zócalo de base redonda de 5,5 cm de diámetro y 1 cm de altura, y tiene un perímetro redondeado convexo. El siguiente tramo, denominado dado o neto, se apoya sobre el zócalo de forma escalonada, con un escalón de aproximadamente 3 mm de altura. El dado o neto está conformado por una columna de 2 cm de altura, de perímetro cóncavo de diámetro aproximado de 2,3 mm. La cornisa del pedestal tiene aproximadamente 7 mm de altura, es de base redonda de aproximadamente 4 cm de diámetro y perímetro redondeado hacia fuera.

La parte superior de la pieza está conformada por un busto de color blanco roto de Leonardo da Vinci. En el anverso se observa una base de forma rectangular donde se halla escrito por incisión el nombre "LEONARDO" en letras mayúsculas. Por el reverso la base del busto lleva incisa la frase en inglés "MADE IN ITALY", en mayúsculas.

Tanto el pedestal como el busto son de un material cerámico, y presentan un acabado mate. El pedestal tiene algo de suciedad pulverulenta de color blancuzco. Por otro lado, el busto presenta una capa pictórica formada por una pátina artificial de color marrón aplicada de forma muy diluida para dar efecto de manchas de antigüedad. Además de esto, el busto presenta marcas lineales grises y anaranjadas en el reverso de la base y en el rostro de la figura (ubicadas en la punta de la nariz, en la frente y en la barba del personaje). Estas marcas posiblemente se produjeron por la fricción de la pieza contra otros elementos de estos colores.

Para realizar las capturas para la fotogrametría se montó un pequeño plató fotográfico doméstico, en donde se colocó la pieza de manera que se pudiera fotografiar desde todos sus ángulos. Se realizaron 3 vueltas de fotografías alrededor de la pieza, aproximadamente a 3 niveles distintos. De esta manera se realizaron 48 fotografías en total, mirando la pieza desde abajo, de frente, y desde arriba.

Se utilizó el [software](#) de código abierto 3D Zephyr Free® en su versión 5.019 para procesar las fotografías. El programa demoró aproximadamente 2 horas para generar el modelo 3D.

La posibilidad de introducir solamente 50 fotografías resulta un poco escasa para digitalizar esculturas de bulto redondo. Se produjeron defectos en el modelo final, ya que se observa que el remate de la cabeza del busto presenta unos bultos que no corresponden a la morfología de la pieza original. Por otro lado, la imagen final se generó con una inclinación aproximadamente de 45°. Esta

inclinación se corrigió fácilmente a través de un programa de código abierto de diseño 3D.

Para traspasar el modelo desde un programa a otro se exportó desde el *software* de generación de fotogrametrías 3D Zephyr Free® el archivo en formato .glb, y luego se importó el archivo generado al programa de modelado 3D Blender®, versión 2.82.

A través de Blender® también se aplicaron dos focos de iluminación que iluminan la pieza de forma homogénea desde el frente.



Fig 30-31. Izquierda resultado importado desde 3D Zephyr Free®, a la derecha modelo importado de Blender®, con corrección de inclinación a 45°



Fig 32. Imagen de detalle de manchas anaranjadas en nariz y barba del personaje, que seguramente se hayan producido por el contacto con un material de este color.



Fig 33. Detalle de fotogrametría. No se observan manchas anaranjadas en la barba



Fig 34. Imagen de detalle de manchas anaranjadas en la frente del personaje.

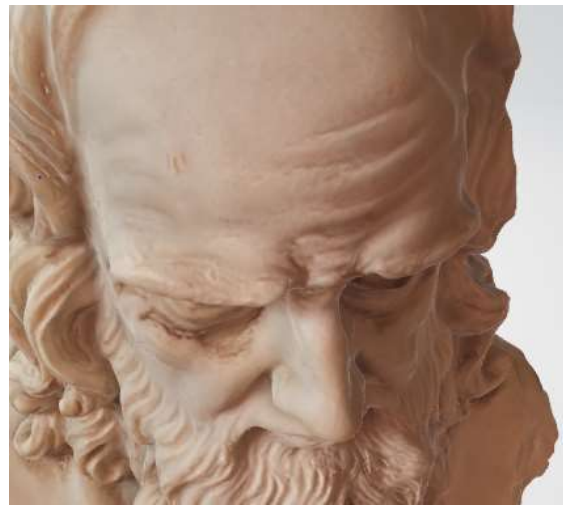


Fig 35. Detalle de fotogrametría. Las manchas anaranjadas de la frente se observan con poca definición. No se observa la mancha de la nariz. Se observa pérdida de detalle en las arrugas de la frente



Fig 36. Imagen de detalle de líneas grises en el reverso.



Fig 37. Detalle de reverso. Se pueden observar las líneas grises, pero el detalle se observa un poco deformado, y no se entiende del todo la alteración.

A partir de la comparación entre las fotos de detalle y capturas de detalle de la fotogrametría se observa pérdida de definición del modelo. Esta pérdida de definición se ha de tener en cuenta a la hora de digitalizar obras patrimoniales, y se debe verificar si el modelo digital será capaz de cumplir con los objetivos para el cual se está ejecutando. También se debe considerar que la fotogrametría se ha realizado con un equipo no profesional y que en caso de requerir una digitalización con más definición se puede recurrir a un especialista, o utilizar la versión *premium* del *software* utilizado, que permite importar más imágenes. Una fotogrametría profesional puede requerir más de 4.000 fotografías (MUHBA, 2020).

6. Conclusiones

El trabajo de estudio desarrollado ha contribuido a la catalogación de algunos medios de digitalización y exposición de imágenes digitales disponibles en la actualidad, y ejemplificar sus usos posibles en el ámbito del patrimonio cultural. La exploración de las posibilidades que brindan las herramientas tecnológicas desestima los prejuicios sobre su aplicación, e incentivan a los profesionales del ámbito patrimonial a formarse, experimentar y aplicar las herramientas disponibles.

El aprovechamiento de las tecnologías actuales puede estar dirigido al uso interno dentro de una institución o al uso externo. Entre las posibilidades de uso interno, la manipulación digital de imágenes puede ser útil para transmitir información en formato gráfico a otros compañeros de trabajo. Actualmente también existe la posibilidad de crear modelos digitales que permiten el volcado de toda la información disponible de la pieza o sitio patrimonial, de forma que se transforma en un punto de encuentro para que profesionales de diversas especialidades puedan poner en común su trabajo, favoreciendo la dinámica multidisciplinar. Finalmente, las tecnologías actuales de registro climático permiten generar datos estadísticos que son una herramienta muy potente para controlar del ambiente tanto de salas de exposición como de salas de reserva. En cuanto al uso externo, el avance tecnológico brinda por un lado nuevos medios de divulgación, tanto a nivel científico como a nivel de entretenimiento, y por otro, provee nuevos sistemas de representación que resultan más atractivos para algunos públicos.

La elaboración del presente trabajo ha evidenciado los siguientes beneficios de los medios digitales que los vuelven superiores respecto a los medios analógicos o tradicionales:

- Favorecen la producción sistematizada de la documentación, y brindan herramientas para trabajar multidisciplinariamente desde una misma plataforma, promoviendo el diálogo entre profesionales
- Ofrecen herramientas de análisis de imágenes que superan el alcance del ojo humano
- Ofrecen herramientas que automatizan o agilizan los procesos de conservación y restauración
- Se puede visualizar previamente una propuesta de intervención física, y valorar el resultado para tomar decisiones
- Brindan la posibilidad de exponer copias digitales cuando las obras originales no están disponibles (como ocurrió en el caso del confinamiento por la pandemia de COVID-19, pero también es aplicable a casos menos extraordinarios)
- Los nuevos medios de exposición permiten visualizar diferentes momentos de la obra o varias obras juntas, permitiendo al espectador desarrollar narrativas y conclusiones
- Aumentan la variedad de formatos expositivos.

Una de las ventajas que ofrecen las tecnologías digitales actúa como arma de doble filo. La posibilidad de intervenir una obra solo a nivel digital, y por lo tanto sin afectar la integridad física de la obra, a la vez permite que se realicen intervenciones menos rigurosas sin miedo de dañar al original. En ocasiones esto deviene en la creación de obras visualmente verosímiles, o emocionantes, pero poco respaldadas científicamente. Este ha sido el caso, por ejemplo, de la animación realizada para el *video mapping* de la restauración de la pintura mural del ábside de la iglesia de *Sant Climent de Taüll*.

Sin embargo, al repasar la historia de la conservación y restauración, y de la evolución de sus criterios de intervención, es evidente que esta es una problemática que siempre ha existido. Incluso actualmente se siguen realizando intervenciones con técnicas tradicionales donde se prima el resultado estético de la restauración sobre las características originales de la pieza. Afortunadamente al detectar esta problemática se hace más sencillo intentar evitarla y caer en falsos históricos. La solución, tanto si se interviene una obra por medios digitales como a través de técnicas tradicionales, es formarse en

base a los criterios deontológicos actuales, y utilizarlos a la hora de intervenir las obras patrimoniales.

Actualmente los profesionales del ámbito museístico están debatiendo criterios específicos para la aplicación de las nuevas tecnologías, y se intentan promover proyectos respaldados por el estado que le den prioridad a la metodología científica. Se busca diseñar una sistematización para asegurar la fidelidad y rigurosidad en el uso de estas nuevas tecnologías para darle credibilidad y proyección a la técnica. Cuanto antes se puedan concretar estos proyectos mayores serán las posibilidades de adelantarse a que otros usuarios difundan imágenes fantásticas como si fueran reales.

El objetivo de conservar y restaurar un bien patrimonial es que permanezca disponible para su divulgación actual y a futuro. Por lo tanto, solo sería contradictorio no aprovechar los medios educativos y de comunicación que ponen a disposición las tecnologías actuales. A partir de esta premisa, la cuestión a debatir sería establecer criterios de exposición que se adecúen a las exigencias del público, pero manteniendo un rigor científico, o al menos dejar en claro el límite entre el producto de entretenimiento y el producto científico. También se ha de destacar que el material de entretenimiento no disminuye el valor del científico, sino que por el contrario puede promover un mayor interés del público en el otro, y viceversa.

Otro punto que se ha evaluado durante la elaboración de este trabajo ha sido la posibilidad que tienen las nuevas tecnologías de conmover al espectador, y comparar el impacto que tienen los medios de exposición digitales contra la exposición tradicional. La conclusión es que los medios de exposición digitales sí tienen la capacidad de causar un impacto estético en el visitante, pero los resultados dependerán de la percepción subjetiva del espectador, de cómo se hayan aprovechado los medios de exposición y de cómo se adaptan los medios de exposición elegidos a la obra en cuestión.

Actualmente el nivel de detalle de las reproducciones de realidad virtual o realidad aumentada utilizadas en los espacios museos no alcanzan a igualar el de la realidad, y por lo tanto no pueden generar una experiencia absolutamente inmersiva donde el usuario no pueda distinguir la virtualidad. Sin embargo, existen casos puntuales donde, a pesar de que el espectador este viendo la obra a través de una reproducción virtual, recibe más información que la que recibe de la contemplación directa de la obra original. En estos casos es posible que la

experiencia virtual resulte más completa y conmovedora incluso que la experiencia *in situ*.

Al optar por utilizar medios digitales y virtuales se ha de tener presente la obsolescencia tecnológica. En el caso de sistemas de presentación, se debe tener en cuenta que estos productos requieren una inversión en mantenimiento, para evitar que el sistema de representación quede estéticamente desfazado, como ocurre con la visita virtual de las cuevas de Santimamiñe. Sin embargo, al evaluar este aspecto se debe considerar que los medios de exposición tradicionales también requieren operaciones de mantenimiento, como por ejemplo de limpieza. En cuanto a las herramientas digitales para la gestión interna de espacios patrimoniales, es conveniente tener los *software*, sistemas operativos y formatos de ficheros actualizados.

En este contexto, tampoco se busca promover la digitalización sistemática del patrimonio, sino que la elección de este procedimiento se ha de realizar como cualquier otro proceso de intervención de una obra, teniendo en cuenta sus propias necesidades, características y condicionantes. Algunos autores (Santos-Gómez et al, 2018) promueven la digitalización masiva como paliativo ante vandalismo y robo de obras patrimoniales, ya que así se garantiza la oportunidad de realizar una reconstrucción fidedigna de la obra perdida. Desde el punto de vista de los criterios de conservación y restauración esta propuesta es totalmente errónea, ya que se basa en la sustitución de la obra original por una copia, sin intentar conservar el original. La solución a los robos de piezas debería ser la educación del público para evitar que la pieza desaparezca en primer lugar. Una reforma educativa de sensibilización del público es una medida compleja y que posiblemente requiere de más trabajo que la digitalización de piezas. Sin embargo, una digitalización sistemática también requiere de inversión de recursos para la generación, mantenimiento y almacenamiento de los modelos 3D.

La digitalización de obras implica la creación de una copia, que es un nuevo objeto digital independiente que requiere un mantenimiento y espacio de almacenamiento. Al realizar esta copia se ha de tener en cuenta si se posee la infraestructura y recursos suficientes para conservar este nuevo objeto. Por otro lado, las optimizaciones en cuanto a espacio de almacenamiento y tamaño de archivos hacen previsible que este problema desaparezca en un futuro cercano,

por lo tanto, hay que estar atento a las actualizaciones tecnológicas y prepararse para poder aprovecharlas.

“Es incomprensible que hoy en día el sector de la conservación-restauración no haya normalizado aún su uso como complemento para la documentación, el análisis o el trabajo sobre obras de arte.” (Barberà Giné, 2017)

El Departamento de Conservación y Restauración de la Universidad de Barcelona en los últimos años le ha dado gran importancia a la creación de una ficha de registro que permita a los estudiantes del grado aprender a documentar de forma sistemática una pieza patrimonial de diversos materiales. Sin embargo, el tema de la digitalización de patrimonio no se trata de forma detallada en su plan de estudios, ni se contempla o solicita a los estudiantes que utilicen las tecnologías más recientes de documentación para la elaboración de sus entregas. Así como para la enseñanza de otros temas los docentes del grado hacen el esfuerzo de investigar y compartir los últimos avances científicos, posiblemente valdría la pena dedicarle un poco de tiempo a profundizar en la enseñanza de estas técnicas. Dentro del territorio español, la única oferta formativa orientada a estos estudios es la Universidad de Alicante, mediante el máster en Patrimonio Virtual. Otra institución con cierto reconocimiento en la enseñanza de estas técnicas en España es la escuela Kore, quienes ofrecen cursos online de formación en patrimonio y tecnología. Dado que estas tecnologías están cada vez más difundidas es previsible que en un futuro cercano los modelos 3D serán herramientas dominadas por los conservadores-restauradores y que serán utilizadas tan a menudo como actualmente lo son las representaciones gráficas en 2D.

Aunque la propuesta de este trabajo no es una transición masiva a la documentación mediante formatos digitales, su intención es hacer una puesta en valor de las tecnologías que hay disponibles, que cada vez son más accesibles y económicas, y promover que se tengan en cuenta a la hora de plantear las intervenciones en el patrimonio cultural.

Bibliografía

Ajuntament de Barcelona. (s. f.-a). *Intervenció: Mercat de Santa Caterina*. Carta Arqueològica de Barcelona. Recuperado 25 de mayo de 2021, de <http://cartaarqueologica.bcn.cat/340>

Ajuntament de Barcelona. (s. f.-b). *Muralles Romanes de Barcino*. Carta Arqueològica de Barcelona. Recuperado 30 de mayo de 2021, de <http://cartaarqueologica.bcn.cat/736>

Areces, R. (2005). *Museos y Nuevas Tecnologías*. Museo: Revista de la Asociación Profesional de Museólogos de España, (Ejemplar 36 dedicado a la museología y a las nuevas tecnologías), nº 10, 247-254.

Audiovisuales UNS. (2014). *Umberto Eco - La función de las Universidades hoy* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=P3e0mybAP4E>

Barberà Giné, Aleix. (2017). *Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales*. Unicum, núm. 17. 153-162.

Blender 2.92 Reference Manual. (s. f.). Blender. Recuperado 8 de mayo de 2021, de <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html>

BURZON*COMENGE & PLAYMODES. (s. f.-a). *Mapping Pantocrator Sant Climent de Taüll 1123*. Pantocrator. Recuperado 30 de mayo de 2021, de http://pantocrator.cat/veure_mapping_sant-climent-de-taull/

- BURZON*COMENGE & PLAYMODES. (s. f.-b). *Proyecto. Pantocrator*. Recuperado 31 de mayo de 2021, de <http://pantocrator.cat/es/projectes/>
- Canadian Conservation Institute. (s. f.). *Condition Reporting – Paintings. Part I: Introduction*. Canadian Conservation Institute (CCI). Recuperado 25 de mayo de 2021, de <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/condition-reporting-paintings-introduction.html>
- CARPODX. (s. f.). C.A.R. Consulting Group. Recuperado 23 de mayo de 2021, de <http://www.carconsulting.com/index.php/carpodx>
- Consorti Patrimoni Mundial de la Vall de Boí. (s. f.). *Centre del Romànic de la Vall de Boí*. Centre del Romànic. Recuperado 30 de mayo de 2021, de <https://www.centreromanic.com/>
- Decálogo de la restauración criterios de intervención en bienes muebles* (2007). Madrid. Ministerio de Cultura
- Deloche, B. (2005). *¿Es el museo virtual un competidor real para el museo institucional?* Mus-A: Revista de los museos de Andalucía, 5. https://www.academia.edu/1391351/El_estudio_sobre_el_impacto_de_las_nuevas_tecnolog%C3%ADas_en_el_p%C3%ABlico_de_los_museos?email_work_card=title
- Díaz Pedregal, Pierre. (2003) *Vigilar el clima en els establiments patrimonials. Per què? Com?* [en línea]. Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura.
- Dibujo vectorial para principiantes*. (s. f.). Adobe. Recuperado 11 de mayo de 2021, de <https://www.adobe.com/es/creativecloud/illustration/discover/vector-art.html>
- Digital and hybrid events*. (2020). ICOM IMD. <http://imd.icom.museum/international-museum-day-2021/digital-and-hybrid-events/>
- E.C.C.O. (2002). *DIRECTRICES PROFESIONALES DE E.C.C.O: LA PROFESION Y SU CODIGO ETICO*. GE-ICC. https://www.ge-icc.com/files/Cartasydocumentos/2002_directrices_%20profesionales_de_ecco_la_profesion_y_su_codigo_etico.pdf
- Equipo BIMnD. (2019). *Para la toma de datos ¿qué es mejor la fotogrametría o el escáner láser 3D?* BIMnD. <https://www.bimnd.es/fotogrametriaversusescaner3d/>

Esquivel, F. J., Alarcón Moreno, L., Esquivel, J. A. y Fernández-García M.^a I. (2019). *Arqueología virtual en la terra sigillata y aplicaciones estadísticas. Láser escáner vs. Fotogrametría*. Lucentum, XXXVIII, 243-254.
<http://dx.doi.org/10.14198/LVCENTVM2019.38.11>

Florensa, A. (1953). *Murallas romanas en Barcelona*. Revista Nacional de Arquitectura, (135), 7.

Flynn, G. J. (2020). *Holography*. Salem Press Encyclopedia of Science.

Fuentes Porto, A., Soto Martínez, O., & Martín Gutiérrez, J. (2020, 31 julio). *Analysis of digital images with DStretch as a support for the virtual restoration of an historical mural painting in San Cristóbal de La Laguna*. Conservar Património, 34. <https://conservapatrimonio.pt/article/view/21434>

García Martín, R. (2012) *Más allá de la interactividad: Los videojuegos como procedimiento artístico*. En J.L. Crespo Fajardo (Ed.), *Bellas Artes y Sociedad Digital* (49 - 74)

Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura. (2020). *Programa de digitalització en 3D del patrimoni cultural de Catalunya. ACTO DE PRESENTACIÓN DE GIRAVOLT EN IDEAL. CENTRE D'ARTS DIGITALS DE BARCELONA*, Barcelona, España.
<https://govern.cat/govern/docs/2020/12/01/16/23/b3404fc3-62e5-4469-934f-a303a3a0f48d.pdf>

González López, M. J., & Martínez Calvo, V. (2009). *Reintegración virtual de lagunas las pinturas de la Sala de los Reyes de la Alhambra de Granada*. PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 99–113.

Horus Heritage Service. (2021). *Horus Condition Report*. Horus Condition Report. <https://horus-conditionreport.com/es/inicio/>

How to reach your public remotely. (2020). ICOM.
<https://icom.museum/en/covid-19/resources/how-to-reach-your-public-remotely/>

ICOM & Google Arts and Culture. (2021). *Conectados a la Cultura* [Diapositivas]. Google Presentations. https://docs.google.com/presentation/d/e/2PACX-1vRS_DQJmM0IwIwSlSdy78jeOauTNqSURZmH8NSbeYMj17-C05Z0sqAs1SHswuvqBx7aZ6Jpzh0vJbQ-/pub?start=false&loop=false&delayms=3000&slide=id.p1

- ICOMOS. (2017). *Principios de Sevilla sobre Arqueología Virtual*. ICOMOS. Comité Nacional Español. <https://icomos.es/wp-content/uploads/2020/06/Seville-Principles-IN-ES-FR.pdf>
- Què és Giravolt. (s. f.). Patrimoni Cultural. Generalitat de Catalunya. Recuperado 8 de mayo de 2021, de <http://patrimoni.gencat.cat/ca/giravolt/que-es-giravolt>
- ¿Qué es la impresión 3D? | Tecnología de impresión 3D. (s. f.). Autodesk. Recuperado 1 de mayo de 2021, de <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing>
- Los portadores de la antorcha - 11.jpg. (2020) Wikimedia Commons. Recuperado 31 de mayo de 2021 de https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Los_portadores_de_la_antorcha_-_11.jpg&oldid=452583325
- Martín Talaverano, R., Murillo Fragero, J. I., & Utrero Agudo, M. de los Ángeles. (2021). *Reflexiones y criterios relativos a la creación de modelos BIM de edificios históricos*. *Arqueología De La Arquitectura*, (18), e113. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.005>
- Mateos Rusillo, S. M., & Gifreu-Castells, A. (2014). *Reconstrucción y activación del patrimonio artístico con tecnología audiovisual. Experiencia de Taüll 1123*. *Profesional De La Información*, 23(5), 527-533.
- Medición, registro y supervisión con registradores de datos. (s. f.). Instrumentos Testo S.A. Recuperado 23 de mayo de 2021, de <https://www.testo.com/es-ES/productos/registrador-de-datos>
- Meinhold, R. (2020). *Virtual Reality*. Salem Press Encyclopedia of Science.
- Mohn, E. (2019). *Augmented Reality*. Salem Press Encyclopedia of Science.
- MUHBA. Museu d'Història de Barcelona. (2020). *Reinventar el museu de la ciutat (VII). Cap al MUHBA digital i virtual* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ZR2fk2F8KHA>
- Parillo Chapman, L. (2019). *2019: Año de Crecimiento para la Impresión Digital. Textiles Panamericanos*. <https://textilspanamericanos.com/textiles-panamericanos/2019/02/2019-ano-de-crecimiento-para-la-impresion-digital/>
- Patrimonio Colaborativo. (s. f.). ICOMOS. Recuperado 23 de mayo de 2021, de <https://icomos.es/colaboraciones/patrimonio-colaborativo/>

R.A.E. (s. f.-a). *digital*. Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. Recuperado 24 de mayo de 2021, de <https://dle.rae.es/digital>

R.A.E. (s. f.-b). *digitalizar*. Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. Recuperado 24 de mayo de 2021, de <https://dle.rae.es/digitalizar>

Rodríguez Silgo, A. (2015). *Hacia un nuevo horizonte en la conservación-restauración*. TELOS (Revista de Pensamiento, Sociedad y Tecnología), 102. <https://telos.fundaciontelefonica.com/archivo/numero102/hacia-un-nuevo-horizonte-en-la-conservacion-restauracion/?output=pdf>

Rojas, Á. T. (2013). *Preparación y ajuste de la impresión digital*. (1.a ed.) [Libro electrónico]. IC Editorial. <https://elibro-net.sire.ub.edu/es/ereader/craiub/54204>

Romànic Obert. (2014). *Resum de la restauració a Sant Climent de Taüll* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=-CS_KF4qUbA

Santos-Gómez, S., Zurdo, L., Ávila, M., de Arriba, P., Bonnín, P. R., Galán, M., Tena, S., Terrón, P., Blanch, E., & Gil, R. (2018). *Aplicación de la tecnología 3D en la restauración del conjunto escultórico "Los Portadores de la Antorcha", de la Ciudad Universitaria de Madrid*. *Arte, Individuo Y Sociedad*, 30(1), 61-75. <https://doi.org/10.5209/ARIS.55743>

S.F.L. Arte. (s. f.). *Factum Arte: Digitalización en 3D para conservación del patrimonio cultural*. FACTUMarte. Recuperado 15 de marzo de 2021, de <https://www.factum-arte.com/pag/706/Elescaneado->

Sitio web. (2018) En Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Sitio_web

Software 3d design | Aplicaciones y recursos gratuitos. (s. f.). Autodesk. Recuperado 8 de mayo de 2021, de <https://www.autodesk.es/solutions/3d-modeling-software>

The London Charter. (2009). *Carta de Londres*. http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_es.pdf

UNESCO World Heritage Centre. (s. f.). *Catalan Romanesque Churches of the Vall de Boí*. Recuperado 30 de mayo de 2021, de <http://whc.unesco.org/en/list/988>

Virtualware. (2009). *Virtual Caves - Santimamiñe* [Video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=6dUvdHZTRMs>

Zetcom AG. (2017). *Introducing MuseumPlus - cloud-based collection management software* [Libro electrónico]. https://www.zetcom.com/wp-content/uploads/2017/11/MuseumPlus_EN-min.pdf

Anexos

[Anexo 1. Glosario](#)

¡Error! Marcador no definido.

[Anexo 2. Carta de Londres](#)

¡Error! Marcador no definido.

[Anexo 3. Principios de Sevilla](#)

¡Error! Marcador no definido.

[Anexo 4. How to reach your public remotly](#)

¡Error! Marcador no definido.

[Anexo 5. Muralla Romana de Barcino](#)

¡Error! Marcador no definido.

Anexo 1. Glosario

AI (*Artificial Intelligence*): Coloquialmente, el término inteligencia artificial se aplica cuando una máquina imita las funciones «cognitivas» que los humanos asocian con otras mentes humanas, como percibir, razonar, aprender y resolver problemas.

Aplicación (*App*), programa informático o *software*: Sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.

AR (*Augmented Reality*): Cualquier tecnología que inserta objetos digitales en el mundo real.

Digital: Dicho de un dispositivo o sistema: Que crea, presenta, transporta o almacena información mediante la combinación de bits.

Digitalizar: Convertir o codificar en números dígitos datos o informaciones de carácter continuo, como una imagen fotográfica, un documento o un libro.

Era Digital: Es el nombre que recibe el período de la historia de la humanidad que va ligado a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Holograma: Técnica de reproducción de imágenes que permite una reconstrucción tridimensional del objeto.

Interfaz: Es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, equipo, computadora o dispositivo, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo.

Imagen rasterizada: Imagen en formato de mapa de bits.

Imagen vectorial: Imágenes que se componen de vectores, son figuras bidimensionales creadas a partir de fórmulas matemáticas geométricas

Macrodatos (*big data*): Conjuntos de datos tan grandes y complejos que precisan de aplicaciones informáticas no tradicionales de procesamiento de datos para tratarlos adecuadamente.

Malla: Conjuntos de vectores en un sistema de coordenadas X, Y y Z. Son figuras tridimensionales creadas a partir de fórmulas matemáticas geométricas.

Material -modelado 3D-: Conjunto de parámetros que controlan la apariencia de los objetos, definen la substancia de la cual está hecha el objeto, su color, textura y reflectancia

Mapa de bits: Imágenes que se componen por píxeles de diversos colores que se distribuyen uno junto a otro formando una cuadrícula.

Modelo BIM: modelo 3D que interrelaciona toda la información gráfica y técnica de la obra.

Nube de puntos: Conjuntos de vértices en un sistema de coordenadas X, Y y Z.

Nodo: Elemento que permite modificar matemáticamente los parámetros específicos de la superficie de un objeto, o de la escena. Los nodos se representan como cajas donde se plasman en forma textual y numérica los valores que controlan. Estos se pueden conectar entre sí y al material al cual están modificando, formando una red que se denomina sistema de nodos.

Periférico de entrada: Dispositivo que capta la información introducida por el usuario en el ordenador.

Periférico de salida: Dispositivo que muestra o proyecta información hacia el exterior del ordenador.

Proyección: Imagen o conjunto de imágenes que se transmiten en formato de haces de luz sobre una pantalla u otra superficie

Redes sociales: Página web en la que los internautas intercambian información personal y contenidos multimedia de modo que crean una comunidad de amigos virtual e interactiva.

Render: Exportación de una representación 2D generada por la elección de un punto de vista de un modelo 3D.

Sitio web: Un sitio *web*, portal o ciber sitio es una colección de páginas *web* relacionadas y comunes a un dominio de internet o subdominio en la *World Wide Web* dentro de Internet.

Software: Ver “Aplicación”.

Video mapping: Proyecciones de vídeo para desplegar una animación o imágenes sobre superficies reales consiguiendo un efecto artístico y fuera de lo común. Está basado en los movimientos que crea la animación (2D y 3D) sobre dicha superficie.

Virtual: Que tiene existencia aparente y no real o que tiene lugar en línea, generalmente a través de internet.

VR (*Virtual Reality*): Tecnología que crea una simulación de un ambiente o mundo virtual que reemplaza totalmente la percepción del mundo real mediante una experiencia inmersiva

Anexo 2. Carta de Londres

DRAFT 2.1

7 February 2009

THE LONDON CHARTER

**FOR THE COMPUTER-BASED VISUALISATION OF CULTURAL
HERITAGE**

Preamble

Objectives

Principles

Principle 1: Implementation

Principle 2: Aims and Methods

Principle 3: Research Sources

Principle 4: Documentation

Principle 5: Sustainability

Principle 6: Access

Glossary

PREAMBLE

While computer-based visualisation methods are now employed in a wide range of contexts to assist in the research, communication and preservation of cultural heritage, a set of principles is needed that will ensure that digital heritage visualisation is, and is seen to be, at least as intellectually and technically rigorous as longer established cultural heritage research and communication methods. At the same time, such principles must reflect the distinctive properties of computer-based visualisation technologies and methods.

Numerous articles, documents, including the AHDS Guides to Good Practice for CAD (2002) and Virtual Reality (2002) and initiatives, including the Virtual Archaeology Special Interest Group (VASIG) and the Cultural Virtual Reality Organisation (CVRO) and others have underlined the importance of ensuring both that computer-based visualisation methods are applied with scholarly rigour, and that the outcomes of research that include computer-based visualisation should accurately convey to users the status of the knowledge that they represent, such as distinctions between evidence and hypothesis, and between different levels of probability.

The London Charter seeks to capture, and to build, a consensus on these and related issues in a way that demands wide recognition and an expectation of compliance within relevant subject communities. In doing so, the Charter aims to enhance the rigour with which computer-based visualisation methods and outcomes are used and evaluated in heritage contexts, thereby promoting understanding and recognition of such methods and outcomes.

The Charter defines principles for the use of computer-based visualisation methods in relation to intellectual integrity, reliability, documentation, sustainability and access.

The Charter recognises that the range of available computer-based visualisation methods is constantly increasing, and that these methods can be applied to address an equally expanding range of research aims. The Charter therefore does not seek to prescribe specific aims or methods, but rather establishes those broad principles for the use, in research and communication of cultural heritage, of computer-based visualisation upon which the intellectual integrity of such methods and outcomes depend.

The Charter is concerned with the research and dissemination of cultural heritage across academic, educational, curatorial and commercial domains. It has relevance, therefore, for those aspects of the entertainment industry involving the reconstruction or evocation of cultural heritage, but not for the use of computer-based visualisation in, for example, contemporary art, fashion, or design. As the aims that motivate the use of visualisation methods vary widely from domain to domain, Principle 1: “Implementation”, signals the importance of devising detailed guidelines appropriate to each community of practice.

OBJECTIVES

The London Charter seeks to establish principles for the use of computer-based visualisation methods and outcomes in the research and communication of cultural heritage in order to:

Provide a benchmark having widespread recognition among stakeholders.

Promote intellectual and technical rigour in digital heritage visualisation.

Ensure that computer-based visualisation processes and outcomes can be properly understood and evaluated by users

Enable computer-based visualisation authoritatively to contribute to the study, interpretation and management of cultural heritage assets.

Ensure access and sustainability strategies are determined and applied.

Offer a robust foundation upon which communities of practice can build detailed London Charter Implementation Guidelines.

PRINCIPLES

Principle 1: Implementation

The principles of the London Charter are valid wherever computer-based visualisation is applied to the research or dissemination of cultural heritage.

- 1.1 Each community of practice, whether academic, educational, curatorial or commercial, should develop London Charter Implementation Guidelines that cohere with its own aims, objectives and methods.
- 1.2 Every computer-based visualisation heritage activity should develop, and monitor the application of, a London Charter Implementation Strategy.
- 1.3 In collaborative activities, all participants whose role involves either directly or indirectly contributing to the visualisation process should be made aware of the principles of the London Charter, together with relevant Charter Implementation Guidelines, and to assess their implications for the planning, documentation and dissemination of the project as a whole.
- 1.4 The costs of implementing such a strategy should be considered in relation to the added intellectual, explanatory and/or economic value of producing outputs that demonstrate a high level of intellectual integrity.

Principle 2: Aims and Methods

A computer-based visualisation method should normally be used only when it is the most appropriate available method for that purpose.

- 2.1 It should not be assumed that computer-based visualisation is the most appropriate means of addressing all cultural heritage research or communication aims.
- 2.2 A systematic, documented evaluation of the suitability of each method to each aim should be carried out, in order to ascertain what, if any, type of computer-based visualisation is likely to prove most appropriate.
- 2.3 While it is recognised that, particularly in innovative or complex activities, it may not always be possible to determine, *a priori*, the most appropriate method, the choice of computer-based visualisation method (e.g. more or less photo-realistic, impressionistic or schematic; representation of hypotheses or of the available evidence; dynamic or static) or the decision to develop a new method, should be based on an evaluation of the likely success of each approach in addressing each aim.

Principle 3: Research Sources

In order to ensure the intellectual integrity of computer-based visualisation methods and outcomes, relevant research sources should be identified and evaluated in a structured and documented way.

- 3.1. In the context of the Charter, research sources are defined as all information, digital and non-digital, considered during, or directly influencing, the creation of computer-based visualisation outcomes.
- 3.2 Research sources should be selected, analysed and evaluated with reference to current understandings and best practice within communities of practice.
- 3.3 Particular attention should be given to the way in which visual sources may be affected by ideological, historical, social, religious and aesthetic and other such factors.

Principle 4: Documentation

Sufficient information should be documented and disseminated to allow computer-based visualisation methods and outcomes to be understood and evaluated in relation to the contexts and purposes for which they are deployed.

Enhancing Practice

- 4.1 Documentation strategies should be designed and resourced in such a way that they actively enhance the visualisation activity by encouraging, and helping to structure, thoughtful practice.
- 4.2 Documentation strategies should be designed to enable rigorous, comparative analysis and evaluation of computer-based visualisations, and to facilitate the recognition and addressing of issues that visualisation activities reveal.
- 4.3 Documentation strategies may assist in the management of Intellectual Property Rights or privileged information.

Documentation of Knowledge Claims

- 4.4 It should be made clear to users what a computer-based visualisation seeks to represent, for example the existing state, an evidence-based restoration or an hypothetical reconstruction of a cultural heritage object or site, and the extent and nature of any factual uncertainty.

Documentation of Research Sources

- 4.5 A complete list of research sources used and their provenance should be disseminated.

Documentation of Process (Paradata)

- 4.6 Documentation of the evaluative, analytical, deductive, interpretative and creative decisions made in the course of computer-based visualisation should be disseminated in such a way that the relationship between

research sources, implicit knowledge, explicit reasoning, and visualisation-based outcomes can be understood.

Documentation of Methods

- 4.7 The rationale for choosing a computer-based visualisation method, and for rejecting other methods, should be documented and disseminated to allow the activity's methodology to be evaluated and to inform subsequent activities.
- 4.8 A description of the visualisation methods should be disseminated if these are not likely to be widely understood within relevant communities of practice.
- 4.9 Where computer-based visualisation methods are used in interdisciplinary contexts that lack a common set of understandings about the nature of research questions, methods and outcomes, project documentation should be undertaken in such a way that it assists in articulating such implicit knowledge and in identifying the different lexica of participating members from diverse subject communities.

Documentation of Dependency Relationships

- 4.10 Computer-based visualisation outcomes should be disseminated in such a way that the nature and importance of significant, hypothetical dependency relationships between elements can be clearly identified by users and the reasoning underlying such hypotheses understood.

Documentation Formats and Standards

- 4.11 Documentation should be disseminated using the most effective available media, including graphical, textual, video, audio, numerical or combinations of the above.
- 4.12 Documentation should be disseminated sustainably with reference to relevant standards and ontologies according to best practice in relevant communities of practice and in such a way that facilitates its inclusion in relevant citation indexes.

Principle 5: Sustainability

Strategies should be planned and implemented to ensure the long-term sustainability of cultural heritage-related computer-based visualisation outcomes and documentation, in order to avoid loss of this growing part of human intellectual, social, economic and cultural heritage.

- 5.1 The most reliable and sustainable available form of archiving computer-based visualisation outcomes, whether analogue or digital, should be identified and implemented.
- 5.2 Digital preservation strategies should aim to preserve the computer-based visualisation data, rather than the medium on which they were originally stored, and also information sufficient to enable their use in the future, for example through migration to different formats or software emulation.
- 5.3 Where digital archiving is not the most reliable means of ensuring the long-term survival of a computer-based visualisation outcome, a partial, two-dimensional record of a computer-based visualisation output, evoking as far as possible the scope and properties of the original output, should be preferred to the absence of a record.
- 5.4 Documentation strategies should be designed to be sustainable in relation to available resources and prevailing working practices.

Principle 6: Access

The creation and dissemination of computer-based visualisation should be planned in such a way as to ensure that maximum possible benefits are achieved for the study, understanding, interpretation, preservation and management of cultural heritage.

- 6.1 The aims, methods and dissemination plans of computer-based visualisation should reflect consideration of how such work can enhance access to cultural heritage that is otherwise inaccessible due to health and safety, disability, economic, political, or environmental reasons, or because the object of the visualisation is lost, endangered, dispersed, or has been destroyed, restored or reconstructed.
- 6.2 Projects should take cognizance of the types and degrees of access that computer-based visualisation can uniquely provide to cultural heritage stakeholders, including the study of change over time, magnification, modification, manipulation of virtual objects, embedding of datasets, instantaneous global distribution.

APPENDIX – Glossary

The following definitions explain how terms are used within this document. They are not intended to be prescriptive beyond that function.

Computer-based visualisation

The process of representing information visually with the aid of computer technologies.

Computer-based visualisation method

The systematic application, usually in a research context, of computer-based visualisation in order to address identified aims.

Computer-based visualisation outcome

An outcome of computer-based visualisation, including but not limited to digital models, still images, animations and physical models.

Cultural heritage

The Charter adopts a wide definition of this term, encompassing all domains of human activity which are concerned with the understanding of communication of the material and intellectual culture. Such domains include, but are not limited to, museums, art galleries, heritage sites, interpretative centres, cultural heritage research institutes, arts and humanities subjects within higher education institutions, the broader educational sector, and tourism.

Dependency relationship

A dependent relationship between the properties of elements within digital models, such that a change in one property will necessitate change in the dependent properties. (For instance, a change in the height of a door will necessitate a corresponding change in the height of the doorframe.)

Intellectual transparency

The provision of information, presented in any medium or format, to allow users to understand the nature and scope of “knowledge claim” made by a computer-based visualisation outcome.

Paradata

Information about human processes of understanding and interpretation of data objects. Examples of paradata include descriptions stored within a structured dataset of how evidence was used to interpret an artefact, or a comment on methodological premises within a research publication. It is closely related, but somewhat different in emphasis, to “contextual metadata”, which tend to communicate interpretations of an artefact or collection, rather than the process through which one or more artefacts were processed or interpreted.

Research sources

All information, digital and non-digital, considered during, or directly influencing, the creation of the computer-based visualisation outcomes.

Subject community

A group of researchers generally defined by a discipline (e.g. Archaeology, Classics, Sinology, Egyptology) and sharing a broadly-defined understanding of what constitute valid research questions, methods and outputs within their subject area.

Sustainability strategy

A strategy to ensure that some meaningful record of computer-based visualisation processes and outcomes is preserved for future generations.

Editor: Hugh Denard, King’s College London, 7 February 2009

Anexo 3. Principios de Sevilla

PRINCIPLES OF SEVILLE

International Principles of Virtual Archaeology



Borrador Final

LOS PRINCIPIOS DE SEVILLA

PRINCIPIOS INTERNACIONALES DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL

PREÁMBULO

La aplicación a nivel mundial de la visualización asistida por ordenador en el campo del patrimonio arqueológico presenta a día de hoy un panorama que podría ser calificado como de “luces y sombras”. El espectacular crecimiento del turismo cultural y los increíbles avances tecnológicos desarrollados en los últimos años han propiciado la elaboración y ejecución de un sin fin de proyectos encaminados a investigar, preservar, interpretar y presentar distintos elementos del patrimonio arqueológico a partir de la utilización de la visualización asistida por ordenador. Estos proyectos han servido para demostrar el extraordinario potencial que la visualización asistida por ordenador encierra en si misma pero también han dejado al descubierto numerosas debilidades e incongruencias. Por ello se hace ineludible plantear un debate teórico de implicaciones prácticas que permita a los gestores del patrimonio aprovechar lo mejor que las nuevas tecnologías pueden ofrecernos en esta materia minimizando sus aplicaciones mas controvertidas. En definitiva se trata de establecer unos principios básicos que regulen las prácticas de esta pujante disciplina.

La Carta de Londres (<http://www.londoncharter.org>) constituye hasta la fecha el documento internacional que más ha avanzado en esta dirección. Sus diversas actualizaciones revelan la necesidad imperante de encontrar un documento cuyas recomendaciones sirvan como base para diseñar nuevos proyectos cada vez con mayor rigor dentro del ámbito del patrimonio cultural, pero también para plantear nuevas recomendaciones y guías adaptadas a las necesidades específicas de cada rama del saber y comunidad de expertos. Es por ello que entre los objetivos que se marca La Carta de Londres se encuentra “Ofrecer unos sólidos fundamentos sobre los que la comunidad de especialistas pueda elaborar criterios y directrices mucho más detalladas”. Y es que no debemos olvidar la inconmensurable amplitud que presenta el concepto de Patrimonio Cultural dentro del cual quedan englobados campos tan amplios como los de patrimonio monumental, etnográfico, documental, industrial, artístico, oral y por supuesto arqueológico.

La Carta de Londres es plenamente consciente de la amplitud conceptual que posee el Patrimonio Cultural, y por consiguiente de las necesidades específicas que pueden requerir cada una de las partes que lo componen. Es por ello que en su Preámbulo, La Carta de Londres ya reconoce estas necesidades: “en la medida en que las pretensiones que motivan el uso de los métodos de visualización varían ampliamente de unos campos a otros, Principio 1: “Implementación”, se deben elaborar directrices específicas que resulten apropiadas para cada disciplina y para cada comunidad de expertos”. Por su parte el Principio 1.1 recomienda: “Cada comunidad de expertos, ya sea académica, educativa, conservativa o comercial, debe desarrollar las directrices de implementación de la Carta de Londres de manera coherente con sus propias pretensiones, objetivos y métodos”. Parece pues evidente que, dada la importancia que el patrimonio arqueológico tiene dentro del patrimonio cultural, y reconocida por muchos la existencia de una comunidad de expertos propia que trabaja de manera habitual entorno al concepto de Arqueología Virtual, se deba plantear la redacción de guías, documentos y recomendaciones que aun siguiendo las directrices generales que marca La Carta de Londres tomen en consideración el carácter específico que posee la Arqueología Virtual.

Los principios que se expondrán a continuación pretenden aumentar las condiciones de aplicabilidad de La Carta de Londres de cara a su mejor implantación en el campo específico del patrimonio arqueológico, incluido el patrimonio arqueológico industrial, simplificando y ordenando secuencialmente sus bases, al mismo tiempo que se ofrecen algunas recomendaciones nuevas que toman en consideración la peculiar naturaleza del patrimonio arqueológico con respecto al patrimonio cultural.

DEFINICIONES

- **Arqueología Virtual:** es la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico.
- **Patrimonio arqueológico:** es el conjunto de elementos materiales, tanto muebles como inmuebles, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie o en el subsuelo, en la tierra o en el agua, que junto con su contexto, que será considerado también como formante del patrimonio arqueológico, sirven como fuente histórica para el conocimiento del pasado de la humanidad. Estos elementos, que fueron o han sido abandonados por las culturas que los fabricaron, tienen como sello distintivo el poder ser estudiados, recuperados o localizados usando la metodología arqueológica como método principal de investigación, cuyas técnicas principales son la excavación y la prospección, sin menoscabo de la posibilidad de usar otros métodos complementarios para su conocimiento.
- **Gestión integral:** comprende las labores de inventario, prospección, excavación, documentación, investigación, mantenimiento, conservación, preservación, restitución, interpretación, presentación, acceso y uso público de los restos materiales del pasado.
- **Restauración virtual:** comprende la reordenación, a partir de un modelo virtual, de los restos materiales existentes con objeto de recuperar visualmente lo que existió en algún momento anterior al presente. La restauración virtual comprende por tanto la anástilosis virtual.
- **Anástilosis virtual:** recomposición de las partes existentes pero desmembradas en un modelo virtual.
- **Reconstrucción virtual:** comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado a partir de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica.
- **Recreación virtual:** comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, del pasado en un momento determinado de un sitio arqueológico, incluyendo cultura material (patrimonio mueble e inmueble), entorno, paisaje, usos, y en general significación cultural.

OBJETIVOS

Dado que el marco teórico de referencia para la los Principios de Sevilla es la propia Carta de Londres el documento asumiría todos los objetivos aprobados por la Junta Consultiva de dicha Carta. A estos objetivos generales sería necesario añadir algunos nuevos, a saber:

- Generar criterios fácilmente comprensibles y aplicables por toda la comunidad de expertos, ya sean estos informáticos, arqueólogos, arquitectos, ingenieros, gestores o especialistas en general en la materia.
- Establecer directrices encaminadas a facilitar al público un mayor entendimiento y mejor apreciación de la labor que desarrolla la disciplina arqueológica.
- Establecer principios y criterios que sirvan para medir los niveles de calidad de los proyectos que se realicen en el campo de la arqueología virtual.
- Promover el uso responsable de las nuevas tecnologías aplicadas a la gestión integral del patrimonio arqueológico.
- Contribuir a mejorar los actuales procesos de investigación, conservación y difusión del patrimonio arqueológico mediante el uso de nuevas tecnologías.
- Abrir nuevas puertas a la aplicación de métodos y técnicas digitales de investigación, conservación y difusión arqueológica.
- Concienciar a la comunidad científica internacional de la necesidad imperante de aunar esfuerzos a nivel mundial en el creciente campo de la arqueología virtual.

PRINCIPIOS

Principio 1: Interdisciplinariedad.

Cualquier proyecto que implique la utilización de nuevas tecnologías, ligadas con la visualización asistida por ordenador, en el campo del patrimonio arqueológico, ya sea para investigación, documentación, conservación o difusión, debe de estar avalado por un equipo de profesionales procedentes de distintas ramas del saber.

- 1.1 Dada la compleja naturaleza que presenta la visualización asistida por ordenador de patrimonio arqueológico, esta no puede ser abordada únicamente por un solo tipo de experto sino que necesita de la colaboración de un buen número de especialistas (arqueólogos, informáticos, historiadores, arquitectos, ingenieros...).
- 1.2 Un trabajo verdaderamente interdisciplinar implica el intercambio de ideas y opiniones entre especialistas de distintos campos de una manera habitual y fluida. El trabajo dividido en compartimentos estanco nunca podrá ser considerado como interdisciplinar aunque participen en él expertos procedentes de distintas disciplinas.
- 1.3 Entre los especialistas que deben colaborar en este modelo interdisciplinar es indispensable contar con la presencia concreta de arqueólogos e historiadores, preferiblemente de aquellos que tienen o tuvieron a su cargo la dirección científica de la excavación o del resto arqueológico sobre el que se pretende trabajar.

Principio 2: Finalidad.

Previamente a la elaboración de cualquier visualización asistida por ordenador siempre debe quedar totalmente claro cual es la finalidad última de nuestro trabajo, es decir, cual es el objetivo final que se persigue alcanzar. Consecuentemente, diferentes niveles de detalle, resolución y precisión pueden resultar necesarios.

- 2.1 Cualquier proyecto de visualización asistida por ordenador siempre tendrá el objetivo de mejorar aspectos relacionados o bien con la investigación, o bien con la conservación o bien con la difusión del patrimonio arqueológico. La finalidad de todo proyecto debe quedar encuadrada dentro de alguna de dichas categorías (investigación, conservación y/o difusión). La categoría referente a difusión engloba tanto proyectos con fines educativos, ya sea educación reglada o informal, como proyectos con fines recreativos (turismo cultural).
- 2.2 Además de esclarecer cual es el objetivo o finalidad principal de la visualización asistida por ordenador siempre será necesario definir objetivos más concretos que sirvan para conocer con más exactitud cual es el problema o problemas que se pretenden resolver.
- 2.3 La visualización asistida por ordenador debe estar siempre al servicio del patrimonio arqueológico y no el patrimonio arqueológico al servicio de la visualización asistida por ordenador. Las nuevas tecnologías aplicadas a la gestión integral del patrimonio arqueológico deben poder satisfacer, como objetivo primordial, las necesidades reales de arqueólogos, conservadores, restauradores, museógrafos, gestores y/o profesionales en general del mundo del patrimonio, y no al revés.
- 2.4 En última instancia la finalidad principal de la arqueología virtual siempre será servir a la sociedad en su conjunto y contribuir al incremento del conocimiento humano.

Principio 3: Complementariedad.

La aplicación de la visualización asistida por ordenador en el campo de la gestión integral del patrimonio arqueológico debe de ser entendida como complementaria, no como sustitutiva, de otros instrumentos de gestión más clásicos pero igualmente eficaces.

- 3.1 La visualización asistida por ordenador no debe aspirar a sustituir a otros métodos y técnicas en el campo de la gestión integral del patrimonio arqueológico (por ejemplo la restauración virtual no debe aspirar a sustituir a la restauración real al igual que la visita virtual no debe aspirar a sustituir a la visita real).
- 3.2 La visualización asistida por ordenador debe buscar vías de colaboración con otros métodos y técnicas de distinta naturaleza que ayuden a mejorar los actuales procesos de investigación, conservación y difusión del patrimonio arqueológico. Para ello el cumplimiento del Principio 1: Interdisciplinariedad, se revelará como fundamental.
- 3.3. Pese a todo, las visualizaciones asistidas por ordenador podrán tener un carácter sustitutivo cuando los restos arqueológicos originales hayan sido destruidos (por ejemplo por la construcción de grandes infraestructuras), se encuentren en lugares de difícil acceso (por ejemplo sin carreteras) o corran riesgo de deterioro ante la visita masiva de turistas (por ejemplo las pinturas rupestres).

Principio 4: Autenticidad.

La visualización asistida por ordenador trabaja de manera habitual reconstruyendo o recreando edificios, artefactos y entornos del pasado tal y como se considera que fueron, es por ello que siempre debe ser posible saber que es real, veraz, auténtico y que no. En este sentido la autenticidad debe ser un concepto operativo permanente para cualquier proyecto de arqueología virtual.

- 4.1 En tanto en cuanto la disciplina arqueológica no es una ciencia exacta e incontestable, sino compleja, se debe apostar abiertamente por realizar interpretaciones virtuales alternativas siempre y cuando presenten igual validez científica. Cuando no exista esa igualdad se apostará únicamente por la hipótesis principal.
- 4.2 Cuando se realicen restauraciones o reconstrucciones virtuales se debe mostrar de forma explícita o bien mediante interpretación adicional los distintos niveles de veracidad en los que se sustenta la restauración o reconstrucción.
- 4.3 En la medida que muchos restos arqueológicos han sido y siguen siendo restaurados o reconstruidos en la realidad la visualización asistida por ordenador debe ayudar tanto a los profesionales como al público a diferenciar claramente entre: los restos que se han conservado “in situ”, los restos que han vuelto a ser colocados en su posición originaria (anastylosis real), las zonas que han sido reconstruidas parcial o totalmente sobre los restos originales, y finalmente las zonas que han sido restauradas o reconstruidas virtualmente.

Principio 5: Rigurosidad histórica.

Para lograr unos niveles de rigurosidad y veracidad histórica óptimos cualquier forma de visualización asistida por ordenador del pasado debe estar sustentada en una sólida investigación y documentación histórica y arqueológica.

- 5.1 La rigurosidad histórica de cualquier visualización asistida por ordenador del pasado dependerá tanto de la rigurosidad con la que se haya realizado la investigación arqueológica previa como de la rigurosidad con la que se use esa información para la creación del modelo virtual.
- 5.2 Todas las fases históricas registradas durante la investigación arqueológica tienen un gran valor. Por lo tanto, no se considerará riguroso mostrar únicamente el momento de esplendor del resto arqueológico reconstruido o recreado sino todas las fases, incluidas las de decadencia, por las que pudo atravesar. Tampoco se debe mostrar una imagen idílica del pasado con edificios que parecen recién construidos, personas que podrían pasar por modelos, etc., sino real, es decir con edificios en diferente estado de conservación, personas de distinto tamaño y peso, etc.
- 5.3 El entorno, contexto o paisaje asociado a un resto arqueológico es tan importante como el resto arqueológico en sí. Las investigaciones antracológicas, paleobotánicas, paleozoológicas y de paleoantropología física deben servir como base para la realización de recreaciones virtuales del paisaje y del contexto rigurosas. No se pueden mostrar sistemáticamente ciudades sin vida, edificios solitarios o paisajes muertos, pues ese es un falso histórico.
- 5.4 La documentación detallada del patrimonio arqueológico es extremadamente importante no sólo para su registro, análisis y difusión, sino también para su propia gestión. Las nuevas técnicas como la fotogrametría o los escáneres láser pueden servir para aumentar la calidad de la documentación científica, ya que cuanto mejor sea la documentación del patrimonio arqueológico realizada mayor será rigurosidad histórica obtenida.

Principio 6: Eficiencia.

El concepto de eficiencia aplicada al campo que nos ocupa pasa inexorablemente por lograr una ajustada sostenibilidad económica y tecnológica. Usar menos recursos para lograr cada vez más y mejores resultados será la clave de la eficiencia.

- 6.1 Cualquier proyecto que implique la utilización de la visualización asistida por ordenador en el campo del patrimonio arqueológico debe evaluar previamente cuales serán las necesidades de mantenimiento económico y tecnológico que generará una vez se instale y ponga en funcionamiento.
- 6.2 Se debe apostar por sistemas que aunque en un primer momento presenten una elevada inversión inicial a largo plazo impliquen un bajo coste de mantenimiento económico y una alta fiabilidad de uso, es decir sistemas resistentes, fáciles de reparar o modificar y de bajo consumo.
- 6.3 Siempre que sea posible se aprovecharán los resultados obtenidos por proyectos de visualización anteriores, evitando la duplicidad, es decir, la realización de los mismos trabajos por dos veces.

Principio 7: Transparencia científica.

Toda visualización asistida por ordenador debe de ser esencialmente transparente, es decir, contrastable por otros investigadores o profesionales, ya que la validez, y por lo tanto el alcance, de las conclusiones producidas por dicha visualización dependerá en gran medida de la capacidad de otros para confirmar o refutar los resultados obtenidos.

- 7.1 Es indudable que toda visualización asistida por ordenador tiene un alto componente de investigación científica. Consecuentemente para que los proyectos de arqueología virtual caminen por la senda del rigor científico y académico se vuelve indispensable la elaboración de bases documentales en las que quede recogido y expresado con total transparencia todo el proceso de trabajo desarrollado: objetivos, metodología, técnicas, razonamientos, origen y características de las fuentes de la investigación, resultados y conclusiones.
- 7.2 Sin menoscabo de la creación de las citadas bases documentales es imprescindible promover la publicación de los resultados de los proyectos de arqueología virtual en revistas, libros, actas o cualesquiera medios editoriales, tanto científicos como de divulgación científica, para conocimiento, revisión y consulta de la comunidad científica internacional y de la sociedad en general.
- 7.3 La incorporación de metadatos y parados es crucial para asegurar la transparencia científica de cualquier proyecto de arqueología virtual. Los metadatos y parados deben ser claros, concisos y fáciles de consultar pero al mismo tiempo deben tratar de proporcionar la mayor cantidad de información posible. La comunidad científica trabajará para lograr la normalización internacional de dichos metadatos y parados.
- 7.4 En cualquier caso y en líneas generales el registro y organización de toda la documentación concerniente a proyectos de arqueología virtual estará basado en los “Principios para la creación de archivos documentales de monumentos, conjuntos arquitectónicos y sitios históricos y artísticos” aprobada por la 11ª asamblea General del ICOMOS en 1996.
- 7.5 En aras de la transparencia científica se hace necesario crear una gran base de datos accesible a nivel mundial con aquellos proyectos que posean unos niveles de calidad óptimos (art 8.4), sin menoscabo de la creación de bases de datos de este tipo de ámbito nacional o regional.

Principio 8: Formación y evaluación

La arqueología virtual constituye una disciplina científica asociada a la gestión integral del patrimonio arqueológico que posee un lenguaje y unas técnicas que le son propias. Como cualquier otra disciplina académica requiere de programas específicos de formación y evaluación.

- 8.1 Deben fomentarse los programas de formación posgraduada de alto nivel que potencien la formación y especialización de un número suficiente de profesionales cualificados en esta materia.
- 8.2 Cuando las visualizaciones asistidas por ordenador tengan como objetivo servir como instrumento de disfrute y comprensión para el público en general el método de evaluación más apropiado será el de los estudios de público.

- 8.3 Cuando las visualizaciones asistidas por ordenador tengan como objetivo servir como instrumento de investigación o conservación del patrimonio arqueológico el método de evaluación más apropiado será su prueba por parte de un número lo suficientemente representativo de usuarios finales es decir de los profesionales a los que este destinado el producto final.
- 8.4 La calidad final de cualquier visualización asistida por ordenador deberá medirse en función de la rigurosidad con la que haya sido elaborada y no de la vistosidad de sus resultados. El cumplimiento de todos los principios determinará que el resultado final de una visualización asistida por ordenador pueda ser considerado o no “de calidad”.

MODELO DE ENMIENDAS AL BORRADOR

Existen 3 tipos de ENMIENDAS: ADICIÓN, SUSTITUCIÓN Y DE SUPRESIÓN.

A la hora de redactar las Enmiendas, se hará de la siguiente forma: Identificación inicial del enmendante (nombre, institución y país), Página de los Principios, tipo de enmienda, Párrafo y Línea inicial, que se pretende enmendar. A continuación el Texto propuesto de adición, sustitución o supresión.

Ejemplo de **ENMIENDA DE ADICIÓN:**

Enmiendas Principios de Sevilla	
Nombre	Víctor M. López-Menchero
Institución	Universidad de Castilla-La Mancha. España
Página	4
Tipo	Adición
Párrafo	3
Línea	2
Texto	Añadir: después de las palabras “de distintos campos”, Lo siguiente: “del conocimiento....”

Ejemplo de **ENMIENDA DE SUSTITUCIÓN:**

Enmiendas Principios de Sevilla	
Nombre	Víctor M. López-Menchero
Institución	Universidad de Castilla-La Mancha. España
Página	4
Tipo	Sustitución
Párrafo	3
Línea	2
Texto	Sustituir las palabras “de distintos campos”, por “de diferentes disciplinas...”

Ejemplo de **ENMIENDA DE SUPRESIÓN:**

Enmiendas Principios de Sevilla	
Nombre	Víctor M. López-Menchero
Institución	Universidad de Castilla-La Mancha. España
Página	4
Tipo	Adición
Párrafo	3
Línea	2
Texto	Suprimir las palabras “de distintos campos”

Enviar vía mail a: secretaria@arqueologiavirtual.com

Anexo 4. How to reach your public remotely

ICOM | COVID-19 | Recommendations | How to reach your public remotely

How to reach your public remotely



News



Agenda



Search



More

around the World. People are staying home to limit the spread of the illness, and venues that normally draw large crowds, including museums, have shut their doors.

We use cookies to ensure that we give you the best experience on our website. If you continue to use this site we will assume that you are happy with it.

Ok No Privacy policy

Put your collection online



The screenshot shows the top section of the Rijksstudio website. At the top is a large banner featuring a detailed painting of a white flower with a bee. The text 'RIJKS STUDIO' is prominently displayed in white. Below the banner, it says 'Zelf aan de slag met 150.000 meesterwerken' and 'Start je eigen Rijksstudio >'. Below this are three featured articles: 'Rijksstudio Award – Maak je eigen Meesterwerk', 'Haal de winter in huis met Rijksstudio', and 'Wat kun je doen met je Rijksstudio?'.

For several years now, museums have been sharing their collections online. The digitalisation of artworks represents a great opportunity for heritage promotion, to extend fruition and your relationship with visitors beyond the museum and, ultimately, to encourage co-creation processes with the public!

Recently, The Smithsonian **released 2.8 Million high-resolution images from across its collections** onto an [open access online platform](#), and earlier this year Paris city museums offered 100,000 (now up to more than 300,000) digital reproductions of artworks as Open Access via their [Collections portal](#).

Open Access is a powerful tool to empower your audiences and give them tools



News



Agenda



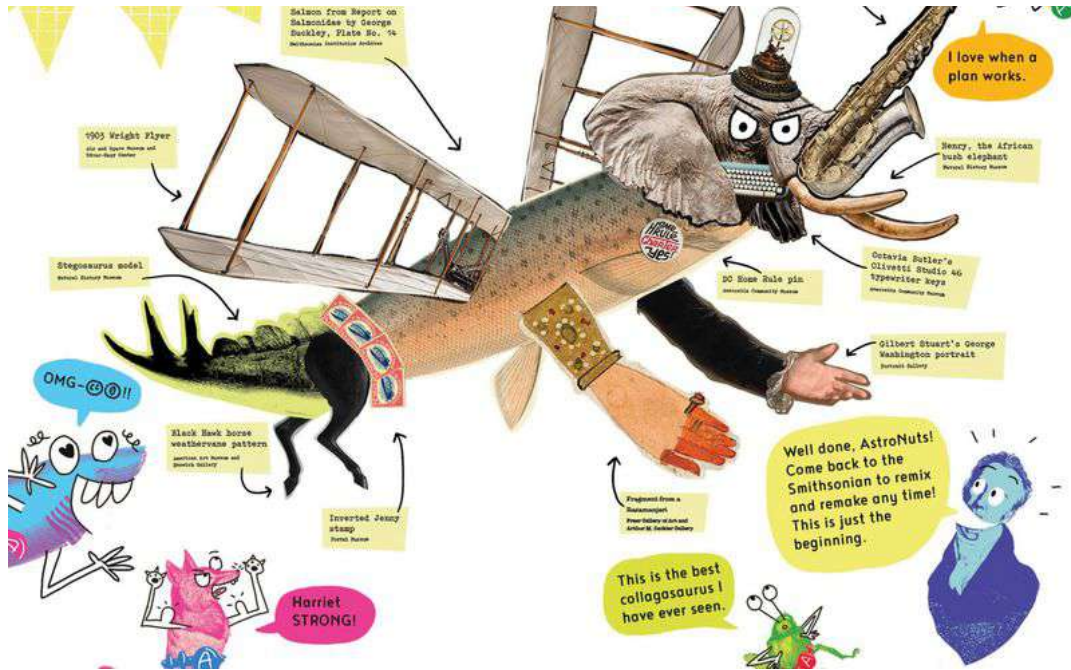
Search



More

We use cookies to ensure that we give you the best experience on our website. If you continue to use this site we will assume that you are happy with it.

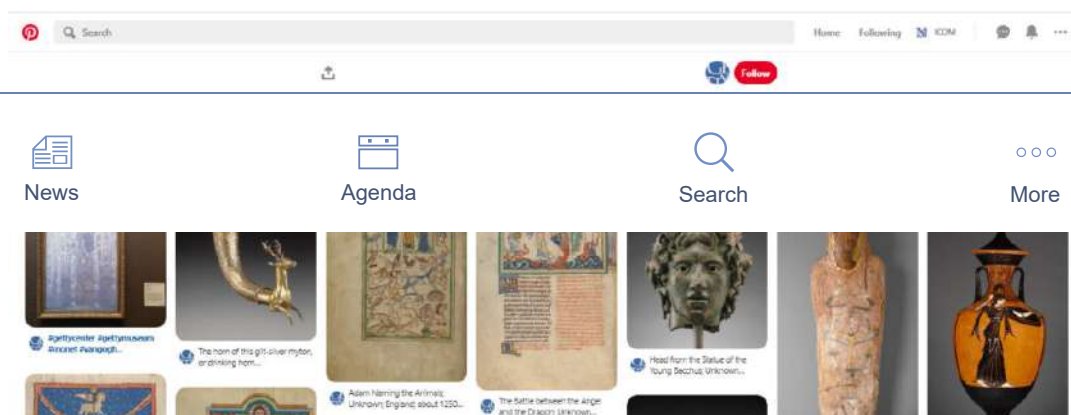
Ok No [Privacy policy](#)



© Jon Scieszka and Steven Weinberg

The COVID-19 health crisis is pushing more and more institutions to dematerialize their collections: Chinese heritage sites including the Chongqing China Three Gorges Museum, the Chongqing Natural History Museum and the National Museum in Beijing have all opted to increase their digital offerings. About 100 online exhibits can be accessed from anywhere via [China's National Cultural Heritage Administration website](#) (in Chinese).

Organise virtual tours



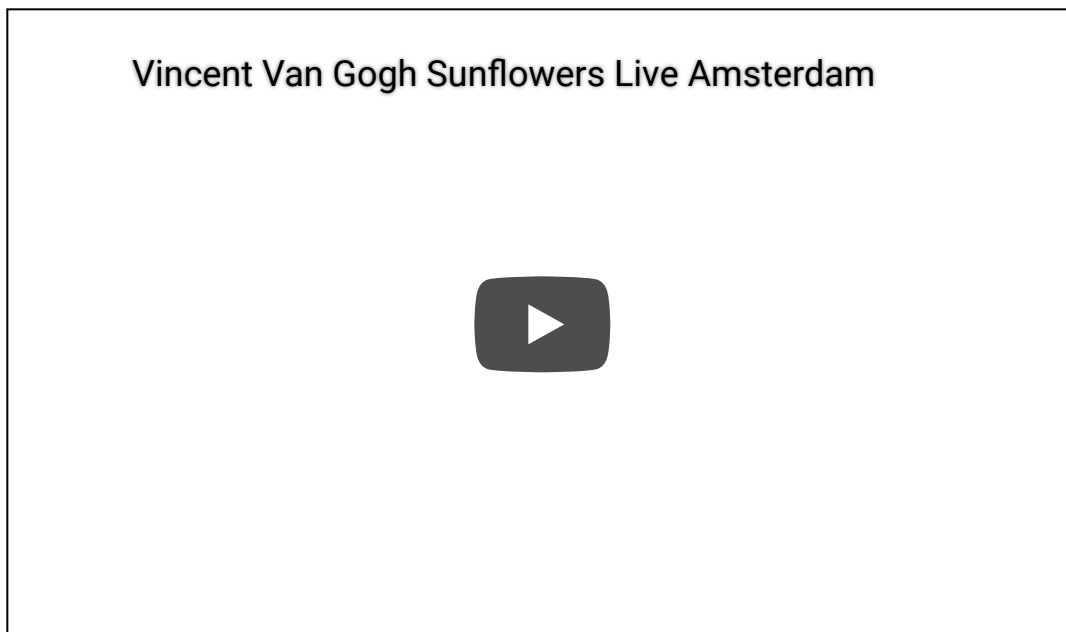
We use cookies to ensure that we give you the best experience on our website. If you continue to use this site we will assume that you are happy with it.

Ok No Privacy policy



THIS WALKTHROUGH OF THE EXHIBITION CITY AND COSMOS: THE ARTS OF TECHNOLOGY at the LACMA). This represents an amazing tool to increase engagement with behind-the-scenes looks and to reach a broader public. Did you know that during our last General Conference, on top of participants from 114 countries, people from other 16 followed #ICOMKyoto2019 via Facebook Live and live Tweet?

On 14 August 2017, in a world-first Facebook live broadcast, Vincent van Gogh's 'Sunflowers' paintings were united virtually in a unique collaboration led by art experts from the National Gallery, the Van Gogh Museum in Amsterdam, Neue Pinakothek in Munich, Philadelphia Museum of Art and Seiji Togo Memorial Sompo Japan Nipponkoa Museum of Art.



In the Time of Coronavirus, “*Triennale Decameron*” is a new program of



News



Agenda



Search



More

expressive languages that in a regime of normality we would never have had the courage to experiment” says the Artistic Director of the Triennale Lorenza Baroncelli.

“This moment of crisis can become an opportunity to experiment

We use cookies to ensure that we give you the best experience on our website. If you continue to use this site we will assume that you are happy with it.

Ok **No** **Privacy policy**

ological or conservation issues. Take a look at the amazing visual explorations put in place by the J. Paul Getty on their profile, with pieces both from the institution’s own collection and from all over the art world. **We suggest to start with [this one!](#)**

Twitter Threads

No museum can better exemplify the opportunities offered by twitter in terms of audience reach and engagement than the Museum of English Rural Life (MERL). After going viral with their “[look at this absolute unit](#)” thread, the museum continues to use twitter to promote its collection in a witty and engaging way.



We use cookies to ensure that we give you the best experience on our website. If you continue to use this site we will assume that you are happy with it.

Ok **No** **Privacy policy**

Podcasts are a rising trend in the museum world. They are cost-effective, incredibly diverse and can be easily enjoyed while commuting or to keep you company while at work or quarantining at home! You can use them to explore your collections, discuss with guests or to give a fresh perspective about the museum work. **For some inspiring examples, take a look at this [list of podcast](#) by and on museums and GLAM.**

Engage your audience with hashtags and social media contests

Tell a story with hashtags

Hashtags are content aggregators: you can use them to invite your audience to follow a story or a series of posts, focusing on a specific topic. Following the forced closure of museums, many Italian institutions turned to social media to remain accessible to visitors. In Milan, the Pinacoteca di Brera began a series called [#ResistenzaCulturale](#) whose goal is to bring the museum to the viewer's home with personal stories and behind the scenes looks, similar to [#storieaportechiuse](#) by the National Museum of Science and Technology Leonardo da Vinci.



We use cookies to ensure that we give you the best experience on our website. If you continue to use this site we will assume that you are happy with it.

Ok **No** **Privacy policy**

result was exceptional, with museums and professionals from all over the world sharing their personal histories about the fundamental role of women in the world of museums and culture.



Quizzes and contests

Quizzes are a cost-effective idea to combine information sharing and audience engagement. Check out [this thread](#) by National Geographic Spain about Frida Kahlo for a great mix of art history and pop-culture quizzes

Finally, contests and competitions are a fun way to encourage your audience to engage with the museum's collections and exhibitions and reinterpret them with a personal touch. And they work even better with an Open access policy! [This is](#)



We hope that these tips can be useful to overcome these difficult times and to reach your audience directly to their home. And don't forget to have fun while doing it!

We use cookies to ensure that we give you the best experience on our website. If you continue to use this site we will assume that you are happy with it.

Ok **No** **Privacy policy**



Sign up to our newsletter

Your email address

SUBMIT

You agree to receive by email our latest articles and informations

ACTIONS

Events

International
Museum Day
Annual
Meetings
General
Conferences

Heritage protection

Copyright
Red Lists
International
Observatory on
Illicit Traffic in
Cultural Goods
Emergency
Preparedness
and Response
Intangible
Heritage

Research and development

Publications
ICOM Learning
ICOM
Information
Centre

Social Role of Museums

Sustainability
and Local
Development
Peace and
Human Rights
Cultural
Democracy and
Inclusion

News

Agenda

Contact Us

NETWORK

Committees'
directory
ICOM Membership
Card
Partners

RESOURCES

ICOM Documents
Publications
Database
Red Lists Database
Standards and
guidelines

GET INVOLVED ABOUT

Become a member
Join an International
Committee
List of job offers
Call for papers
ICOM Voices
History of ICOM
Missions and
objectives
Executive Board
ICOM Committees
General Assembly
Advisory Council
Secretariat

Anexo 5. Muralla Romana de Barcino



Muralla Romana

Julieta Cash

Biología y Geología de los Bienes Culturales

Grupo C2 – Año 2018-2019

Profesor Manuel Iglesias Campos

Introducción	2
Breve evolución histórica de la obra	2
Breve descripción de la obra	4
Ubicación, localización y condiciones ambientales	4
Materiales	6
Descripción Roca	7
Mortero de unión entre sillares	9
Ladrillos cerámicos	10
Mortero de unión ladrillos	11
Alteraciones	12
Descripción de las alteraciones	13
Bibliografía	16

Introducción

El objetivo del trabajo es realizar una descripción del monumento elegido, implementando la metodología aprendida durante el curso. Se deben describir los materiales pétreos, incluyendo rocas, morteros y cerámicas que conforman el monumento, y sus alteraciones.

Breve evolución histórica de la obra

La muralla romana fue la primer muralla que se construyó en el territorio de la actual ciudad de Barcelona, y su construcción data entre el siglo I y IV d.C. Hoy en día los restos de muralla se observan descontextualizados, y se olvida el sentido defensivo-militar por el que fué alzada. La muralla original tenía una longitud total de 1135 m, y se alzaba alrededor de la ciudad. Ésta tenía una altura media de 9 m y un grosor de 2 m. Sin embargo, hacia el s. III d.C, se tomó la decisión estratégica de reforzar la muralla yuxtaponiendo la nueva construcción del lado exterior de la muralla original, aumentando su grosor a 4 m. Con esta reforma de la muralla, que es la que se observa actualmente, se construyeron 76 torres, las cuales miden entre 7 y 17 m de altura. Estas torres tienen una amplitud frontal de entre 4,5 y 6,5 m y se observa que todas se construyeron enrasadas en la parte interna de la muralla, y sobresaliendo aproximadamente 3 m por el exterior.

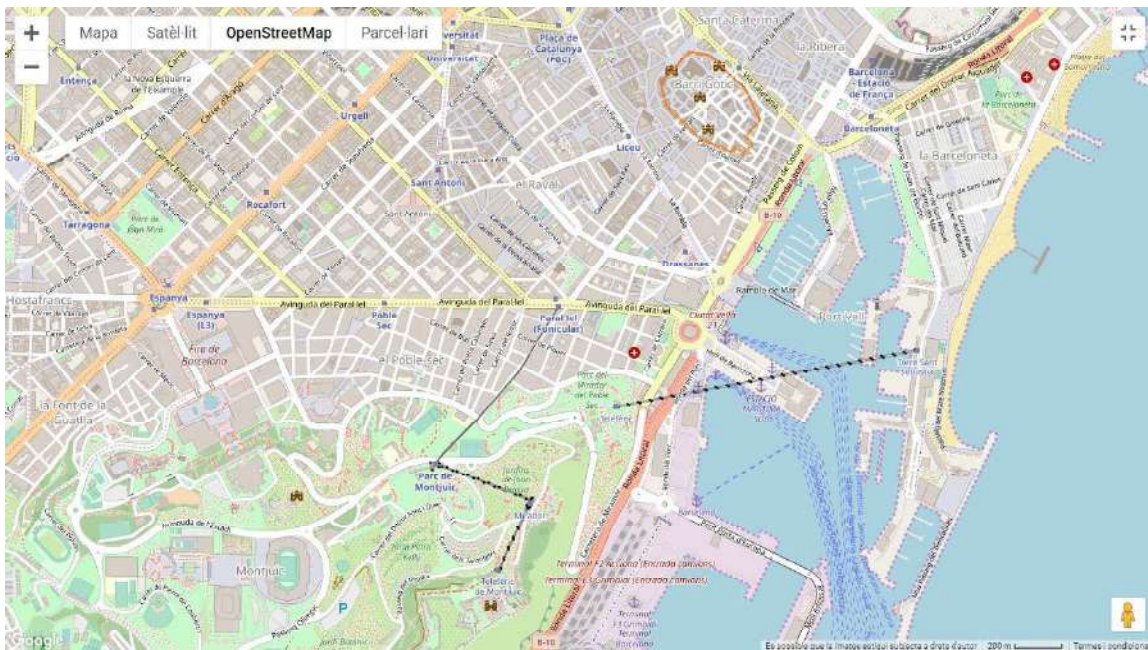


Figura 1. En este mapa actual, captura de la carta arqueológica de Barcelona, se observa una planta de la muralla original, dibujada en naranja en la parte superior. Se puede ver que la muralla se construyó relativamente cerca del Montjuïc, por lo que tiene sentido que extrajeran rocas de este monte para construirla.

Con el tiempo la ciudad fue creciendo extra muros, por lo que la muralla romana quedó tapada por nuevas construcciones, y algunos fragmentos fueron destruidos. Eventualmente, la muralla acabó perdiéndose entre las nuevas edificaciones.

Finalmente, durante los derribos realizados para la apertura de Vía Laietana a principios del s XX se redescubrió un tramo de 75 m de la antigua muralla. A partir de este descubrimiento comenzaron

las obras para su recuperación y puesta en valor. El proyecto de restauración de la muralla fue dirigido en aquel entonces por el arquitecto Adolfo Florensa, quien decidió realizar las reintegraciones volumétricas con ladrillos, rebajar los pavimentos hasta el nivel primitivo de la muralla y abrir calles y plazas siguiendo el contorno de la muralla, para que quede a la vista.



Figura 2 Revista Nacional de Arquitectura. 1953. Foto documental del descubrimiento de aproximadamente 75 m de muralla durante la apertura de Via Laietana. Se observa a la izquierda la torre seleccionada para realizar el estudio

Breve descripción de la obra

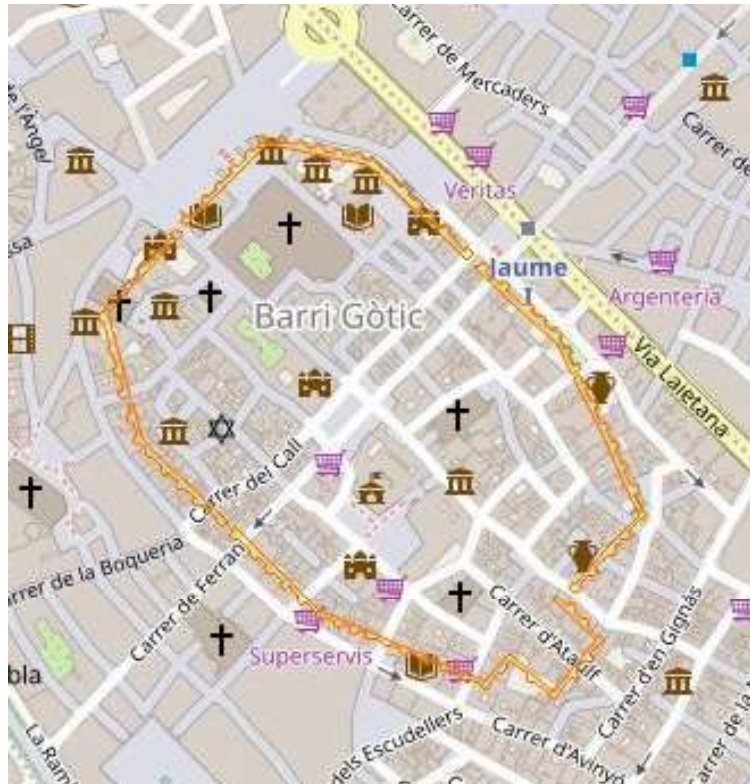


Figura 3. Detalle de forma y extensión de toda la muralla original.

Debido a la gran extensión de la muralla, tuve que seleccionar un sector de esta para realizar el trabajo. He decidido utilizar la parte de muralla que se observa desde la Plaza de Ramón Berenguer el Grande, ya que la conservación de este fragmento es buena, es accesible al público y porque su localización es cercana al epicentro histórico de Barcelona. En particular, el sector que he seleccionado pertenece al tramo redescubierto durante la reapertura de Vía Laietana, y se trata de una fachada de una de las torres de la muralla.

He examinado la torre desde la Plaza de Ramón Berenguer el Grande, es decir, desde el lado exterior de la muralla. En el fragmento seleccionado se observaban 4 materiales:

- Sillares de roca arenisca
- Mortero de unión de los sillares
- Ladrillos cerámicos (reintegraciones volumétricas)
- Mortero de unión de los ladrillos

Ubicación, localización y condiciones ambientales

Al ubicarse junto a una plaza, este fragmento de muralla se encuentra en frecuente contacto con la comunidad, que puede producirle alteraciones tanto adrede como sin quererlo. Al encontrarse en el exterior, se ve afectada por los agentes atmosféricos como lluvias, y viento, además de la contaminación urbana propia de la ciudad, especialmente del centro. Barcelona tiene un clima

mediterráneo, y como se puede observar en la figura 1, este monumento se encuentra relativamente cerca del mar.



Figura 4. Detalle de localización del sector de la torre elegida. Se analizó una de sus fachadas desde el exterior de la muralla, desde la posición marcada con un punto rojo y blanco.

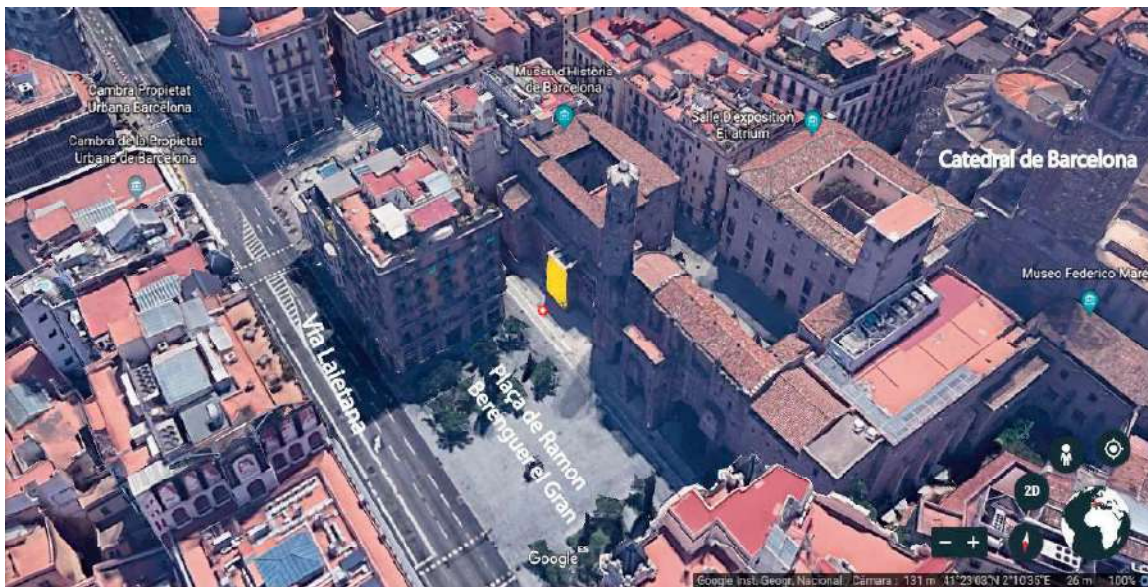
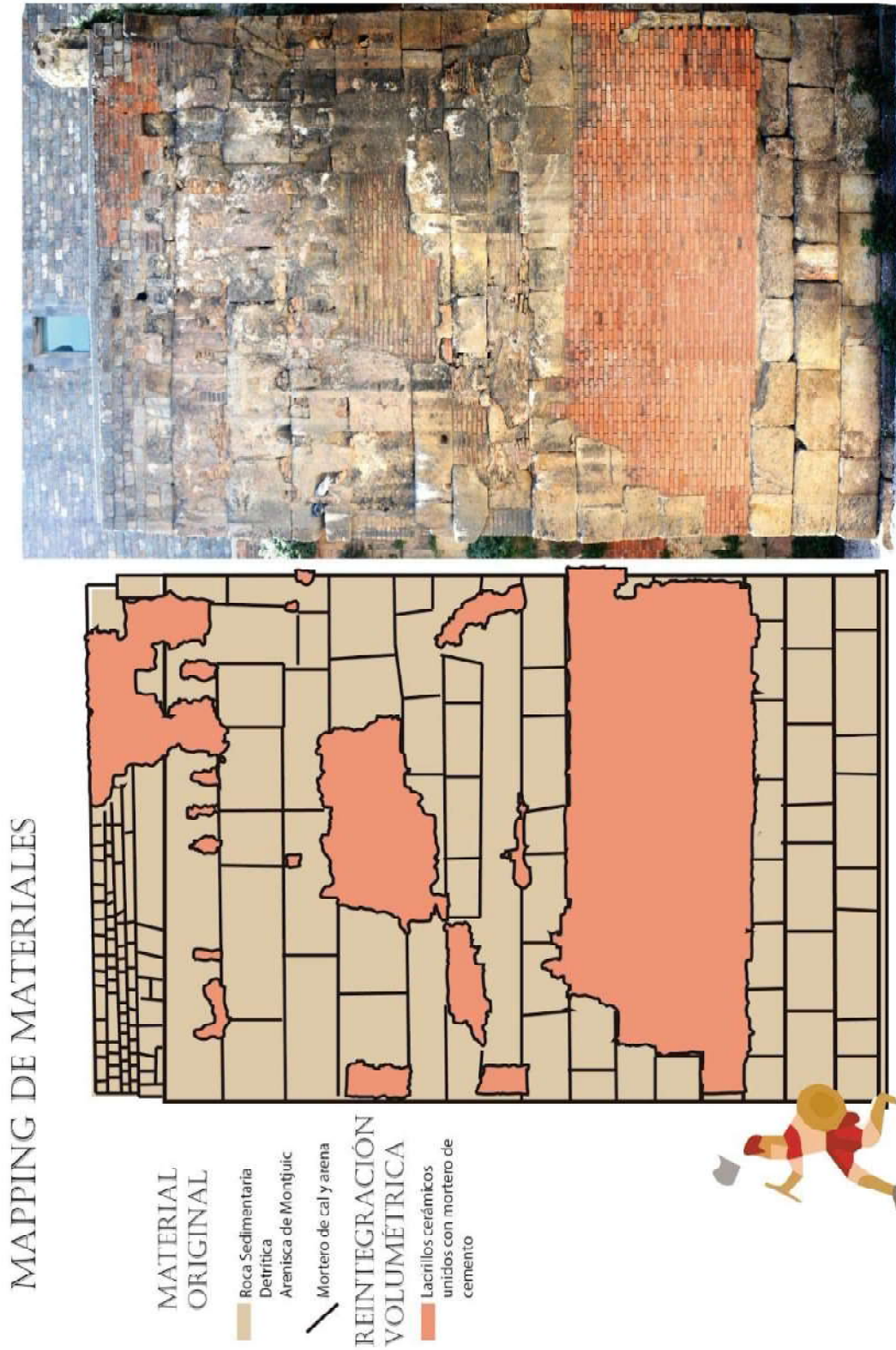







Figura 5. Sector analizado señalado en naranja, desde la posición marcada con un punto rojo.

Materiales



Descripción Roca

Clasificación genética	Sedimentaria	
Roca	Arenisca (Arenisca de Montjuic)	
Color	Ocre muy pálido, grisáceo.	
Textura	Tipo Cementada granular. Clástica	
	Fase de unión Con matriz y con cemento	
	Tamaño de los granos Grano muy fino	
	Granos Equigranulares	
	Forma borde granos angulosos	
	Empaquetamiento elevado	
Orientación	En general, sin orientación. En algunos sillares pueden observarse las capas de sedimentación.	Fig.6 Muestra de fragmento encontrado in situ, junto a moneda de 1 céntimo como referencia de escala. Se observa rotura fresca, tamaño de granos muy fino. Material entre poroso y microporoso.
Homogeneidad	Homogeneidad de tamaño de los granos a simple vista, y a 50x.	
	Tipo heterogeneidad A simple vista se observan algunas discontinuidades del material, debido a cambios de color, y a sectores donde las alteraciones son más graves. A 200x se observa variedad de tamaño de los granos, y variaciones de color.	
Porosidad	Poroso	
	Tamaño vacíos Entre poros y microporos	
	Tipo de vacíos intergranulares	
Composición	Componentes minerales Composición carbonatada (algunos restos fósiles), cemento silíceo (según Litoteca UB)	Fig.8 Muestra a 200 x. Granos angulosos, se observan más heterogranulares

	Componente petrográfico Rocas con granos, matriz y cemento	
Coherencia/friabilidad	Friable Disgregable en granos y polvo, y fisurado	
Alteración	Si Cambios de color y aportes de materia -ennegrecimiento -suciedad -concreciones Pérdida de materia -erosión -redondeamiento -desprendimiento -incremento rugosidad -incisiones Agrietamientos Biocolonización -musgo -líquenes -plantas -palomas	 Fig.9 Detalle de traba de sillares Fig.10 Detalle donde de sillar donde se observan estratos sedimentarios.

Descripción: En la fachada de esta torre de la muralla se observa el uso de roca como material constructivo tanto en el sector del muro, donde se ven sillares de aproximadamente 60 x 90 cm, como en un zócalo de aproximadamente 5 cm de altura y en el remate de la construcción donde se utilizaron bloques de menor tamaño. Estos elementos fueron fabricados con piedra de Montjuic. Se trata de una roca sedimentaria, detrítica, arenisca. Es de color ocre muy pálido, grisáceo. Su textura general es cementada granular y su textura básica es clástica. Su composición consiste de granos y de una fase de unión con matriz y con cemento. La composición es carbonatada, y a simple vista se observan algunos restos fósiles aislados. Sin embargo, su cemento es silíceo, según la Litoteca de la Universidad de Barcelona. Se observan granos equigranulares, con forma angulosa, de tamaño muy fino. Se observa un empaquetamiento elevado, con poros intergranulares. En general no se observa orientación, aunque en algunos sillares se observan discontinuidades de material, y los estratos de sedimentación de distintos colores. A simple vista el material es homogéneo, aunque al observarlo a 200x se observa mayor diversidad en el tamaño y color de los granos. Es un material friable, disgregable en granos y polvo, aunque se observa en buen estado. El material presenta alteraciones de cambio de color y aportes de materia, de pérdida de materia, agrietamientos y biocolonización. Se pueden observar, más específicamente, ennegrecimiento, suciedad superficial y en cavidades, concreciones, erosión, redondeamiento de bordes y esquinas, desprendimientos por rotura y descamación, incremento de rugosidad por erosión diferencial, incisiones constructivas y asociadas a vandalismo, agrietamientos, y presencia de seres vivos como musgo, líquenes, plantas y palomas. Debido a sus alteraciones, actualmente

se observa un acabado “rústico” de los sillares, sin embargo es posible que originalmente tuvieran un acabado liso, de tipo aserrado o apomazado.




Mortero de unión entre sillares

Descripción mortero de cal: En el sector elegido de la muralla el mortero que une los sillares ha perdido mucho material, por lo que no se observa superficialmente (ver figura 10) Sin embargo, por la época de construcción, según las fuentes bibliográficas, y teniendo en cuenta otros sectores de la muralla, es posible que el conglomerante de este mortero sea cal, y que se hayan utilizado áridos de tamaño entre medio y fino, heterogranulares, sin orientación. Debido a la alteración que presenta, es evidente que se trata de un material friable, ya que se ha desgranado y no es visible superficialmente.



Figura 11. Detalle de unión entre dos sillares, mortero desgranado, no es visible superficialmente.

Ladrillos cerámicos

Tipo de material	Cerámica	
Color Textura	Anaranjado-rojizo	
	Tamaño desgrasantes Grano muy fino Angulosos	
Orientación	Sin orientación	
Homogeneidad	Homogéneo	
	Tipos de heterogeneidad -	
Porosidad	Cantidad vacíos/compacidad Material compacto, microporoso	
	Tamaño vacíos microporos	
	Tipo de vacíos a simple vista se observan algunas fisuras.	
Composición	Desgrasantes-arcilla cocida	
Densidad	Alta	
Coherencia/ friabilidad	Se ve coherente, a pesar de algunos sectores alterados, disgregados.	

Descripción:

Para realizar la reintegración volumétrica de este sector se aplicaron hiladas de ladrillos cerámicos. La cerámica de estos ladrillos es de color naranja-rojiza, de composición homogénea. Su composición es de una pasta de arcilla cocida y desgrasantes sin orientación, de tamaño muy fino y de forma angulosos. El material es denso y compacto, y el tamaño de sus poros es microporoso. Su estado actual es coherente, excepto por algunos sectores más alterados que presentan disgregación. También se observan alteraciones de cambio de color, suciedad, deformaciones y fisuras.

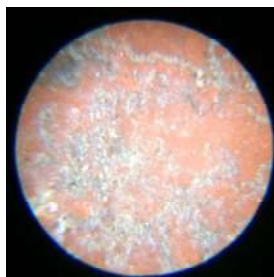

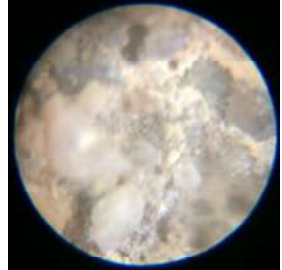


Figura 15, se observa superficie de un ladrillo a 100x. No se aprecian los poros, pero si la suciedad incrustada en ellos.



Figura 16, rotura de material a 100x, se observa forma y variedad de desgrasantes

Mortero de unión ladrillos

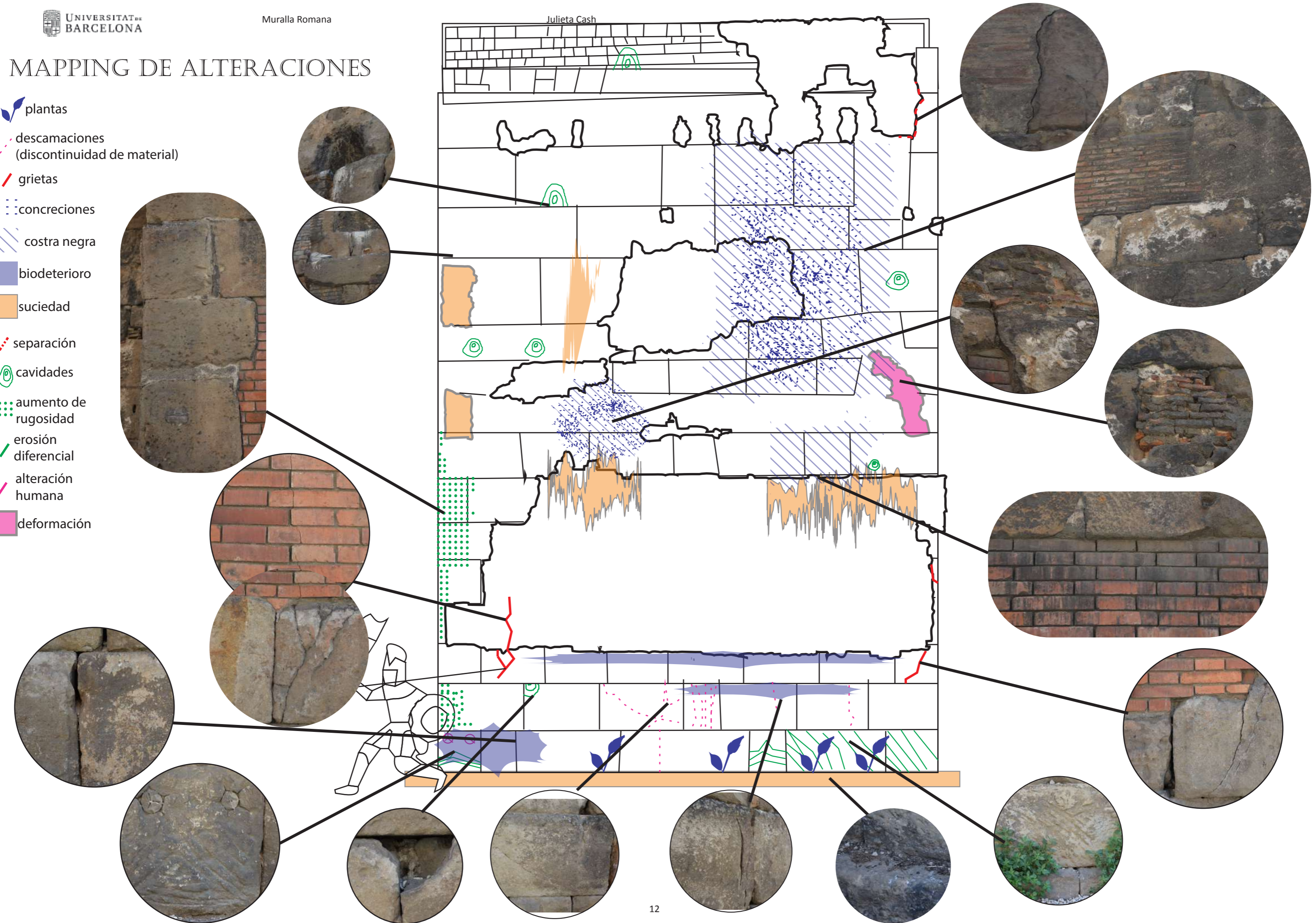
Tipo mortero	Cemento	 <p>Fig.17 Detalle macroscópico de mortero de cemento. A simple vista se observa heterogeneidad de áridos. Mayor proporción de conglomerante que de áridos.</p>
Color	Gris	
Textura	Tamaño áridos fino a medio	
	Clasificación áridos Heterogranulares	
	Forma áridos Redondeados y angulosos	
	Empaquetamiento bajo	
Orientación	Sin orientación	
Homogeneidad	Heterogéneo	
	Tipo de heterogeneidad: variación de composición, granos de distintos tamaños y materiales.	
Porosidad	Cantidad de vacíos/compacidad compacto, microporoso	
	Tamaño vacíos microporos	
Composición	Áridos < Conglomerante	
Densidad	Alta	
Coherencia	coherente	
Alteración	No se observan	 <p>Fig. 18 Detalle microscópico</p>

Descripción mortero de cemento:

El mortero de unión de los ladrillos cerámicos se trata de un mortero de cemento, con una proporción mayor cantidad de conglomerante que de áridos. Sus áridos son heterogéneos, de distintos tamaños entre granos finos y granos medios. También son heterogéneos en su forma, observando algunos granos angulosos y otros redondeados. Se observa un empaquetamiento de áridos bajo, con conglomerante entre ellos, por lo que es un material denso, y compacto. Se observa una porosidad intergranular, microporosa. Su estado es coherente y no se observan alteraciones.

MAPPING DE ALTERACIONES

- plantas
- descamaciones (discontinuidad de material)
- grietas
- concreciones
- costra negra
- biodeterioro
- suciedad
- separación
- cavidades
- aumento de rugosidad
- erosión diferencial
- alteración humana
- deformación



Descripción de las alteraciones

Al observar los elementos de piedra, se observan las siguientes alteraciones. Se observa un ennegrecimiento general del material, debido a suciedad superficial incrustada en su porosidad. En el sector del zócalo se observa una acumulación de suciedad extraordinaria. También se ven marcas de suciedad en el sector izquierdo, con forma de chorreaduras. En cuanto a otros agregados de materia, debajo del gran bloque de ladrillos cerámicos, se observa que algunos sillares presentan más ennegrecimiento en su mitad superior, debido a una posible biocolonización conformada por líquenes. En el sector superior derecho, se observa la zona más alterada: a simple vista se ve que este sector está mucho más ennegrecido que el resto del muro. Sin embargo, al mirar con más detenimiento, se observan también masas de un material blanco, entre la superficie de las piedras y el material negro. Esta materia blanca podría tratarse de concreciones calcáreas, o de sales, y a esta capa se le ha sumado una costra negra de composición indefinida.

Por otro lado, también se observan pérdidas de materia. En general, las esquinas de los sillares se observan redondeadas. En algunos sillares de la primera hilera de sillares desde el suelo, se observan unas marcas lineales de erosión diferencial. Estas marcas tienen forma de líneas rectas diagonales. En el borde izquierdo de la muralla se observa otro tipo de erosión diferencial, que le da un aspecto más rugoso a esta esquina. Esta alteración se repite en dos de los sillares que se ubican sobre el bloque de ladrillos más grande. Sobre estos dos se ha formado una capa negra, posiblemente de biocolonización. En la segunda hilera de sillares se observan algunas descamaciones, debidas a discontinuidades del material. Además se han formado algunas cavidades por motivos indeterminados. En el sillar de la esquina inferior izquierda se observan unas marcas talladas con forma circular, provocadas por el hombre. No se determina si estas marcas tienen un motivo constructivo, de vandalismo, de señalización u otros.

No se observan deformaciones, pero si algunas grietas.

Además de los líquenes previamente mencionados, destaca la presencia de plantas que crecieron sobre el zócalo, y de palomas que anidan sobre esta torre. Se observan excrementos de paloma de variados tamaños distribuidos sobre toda la fachada de la torre.

El mortero de cal original se encuentra muy alterado ya que ha perdido mucho material. Esta disgregación no permite su observación.

Los ladrillos que se observan en esta fachada podrían dividirse en 3 grupos. El primer grupo es el inferior, de tamaño más grande que los otros dos, se encuentra en buen estado. En el sector inferior izquierdo de este grupo se observa una grieta que fractura varios ladrillos, y que parece la continuación de una grieta que pertenece a los sillares con los que están en contacto. A parte de esto, algunos ladrillos se observan más ennegrecidos que el conjunto, y en el sector superior se observan algunas manchas de suciedad, chorreaduras desde el sector superior. Por otro lado, se observan algunos ganchos de metal que han sido clavados en la parte superior de este grupo de ladrillos. Se desconoce la función precisa de estos ganchos, más allá de sujetar algún objeto.



Fig. 19 a 22 Detalle de ganchos encontrados en el sector de ladrillos.

El segundo grupo de ladrillos se encuentra más alterado. Todo el conjunto a sufrido un cambio de color, y a simple vista, parece que no fuera el mismo tipo de ladrillos que se utilizó en el primer grupo. Sin embargo, ya que tienen el mismo tamaño y forma que los primeros, se concluye que son del mismo tipo. Su mitad derecha se observa tan ennegrecida como los bloques de piedra que la rodean. Se observa que la costra negra se ha formado también sobre estos ladrillos. El grupo marcado en color fucsia en el mapping se encuentra tan alterado que se ha deformado.

El tercer grupo de ladrillos es aquel que se encuentra en el remate de la fachada. Este sector se observa en buen estado, aparte de observarse suciedad superficial, que podría deberse a biocolonización.

En los 3 grupos de ladrillos se observan excrementos de paloma, que provienen de los nidos que han colocado sobre la torre.

El mortero de cemento cumple dos funciones: por un lado une los ladrillos cerámicos entre sí y por otro, los une a la construcción de piedra original. Este mortero se observa en buen estado, excepto por un sector en la esquina superior derecha, donde se observa que las piedras se están desprendiendo de la reintegración.

Conclusiones con interpretación de datos



En la figura 23 se observa una foto de hace 4 años donde se puede observar el sector de muralla analizado. Actualmente la alteración más evidente es la formación de la costra negra que en la foto de 2015 no se observa tan acentuada. Teniendo en cuenta que esta fachada se construyó alrededor del S.III, concluyo que el tiempo de formación de esta costra ha sido bastante acelerado, y que se debería revisar con mayor urgencia.

En segundo lugar, me parece también urgente la revisión del mortero de cemento aplicado en el sector superior derecho, donde parece que uno de los sillares se está por desprender. Además de que un derrumbe desde esta altura podría dañar el sillar, resultaría bastante peligroso ya que esta zona es accesible al público.

Los ladrillos cerámicos son un material poroso, menos duro y resistente que la arenisca de la muralla original, que tiene un cemento silicatado que la vuelve bastante resistente. Es posible que estas características del ladrillo cerámico provoquen que reciba las alteraciones del material original y que frente a estas se altere con mayor facilidad. Es por esto que el grupo de ladrillos intermedios se

Fig. 23 Fotografía publicada en marzo de 2015 en la red social Instagram donde se observa la fachada de la torre.

encuentra más alterado que los otros, ya que se encuentra en contacto con rocas más alteradas.

La diferencia de suciedad entre el primer grupo de ladrillos, y el grupo de ladrillos superior podría deberse a que la primera es limpiada con frecuencia por la brigada de limpieza municipal, mientras que la otra no está al alcance. Sería conveniente que la limpieza, como el mantenimiento general de la muralla, estuvieran a cargo de un grupo de conservadores especializados en lugar de la brigada de limpieza.

Bibliografía

Florensa, A. (1953). Murallas romanas en Barcelona. *Revista Nacional de Arquitectura*, (135), 7.

Otras fuentes:

Carta arqueológica del Ajuntament de Barcelona: <http://cartaarqueologica.bcn.cat/736>
(consultada el 12 de mayo de 2019)

Fotografías de Instagram

Litoteca online de la Universitat de Barcelona:
<http://www.ub.edu/futurs/geologia/litoteca/fitxes/sedimentaries/pedra%20de%20montjuic.html>
(consultada el 12 de mayo de 2019)

Anexo 6. Acceso a los modelos 3D subidos a la plataforma Sketchfab ®

Los modelos realizados a partir de las fotogrametrías del busto de Leonardo da Vinci y el fragmento de muralla romana de Barcino fueron colgados dentro de la plataforma Sketchfab® a la colección Trabajo Final de Grado Tecnologías Actuales de Digitalización de Obras Patrimoniales (TFG TADOP). Se puede acceder a la colección escaneando el código QR adjunto debajo o bien mediante el siguiente enlace:



<https://sketchfab.com/Juli.Cash/collections/tfg-tadop>