

Fotogrametría y realidad mixta para la recuperación del patrimonio descontextualizado. El coro gótico de la catedral de Girona

Albert Sánchez-Riera ¹ | Carles Pàmies-Sauret ² | Isidro Navarro-Delgado ³

Recibido: 15-03-2022 | Versión final: 29-06-2022

Resumen

La descontextualización del patrimonio histórico-artístico a la que han estado sometidos gran parte de los centros eclesiásticos españoles supone un claro ejemplo de la progresiva pérdida del patrimonio cultural. La obra, una vez fuera del lugar para el que fue originalmente concebida, queda completamente desvirtuada, impidiendo al historiador, científico, o mero espectador, contemplarla en su totalidad y establecer cualquier hipótesis sobre su origen y configuración original. Inspirado en el caso de la sillería gótica de la Catedral de Girona, completamente desmantelada en la actualidad, este artículo presenta un ejercicio de reconstrucción virtual y posterior integración en un aplicativo para la visualización interactiva del conjunto en su contexto original. Para ello se integran geoméricamente imágenes *equirectangulares* del edificio actual con el modelo virtual de la sillería reconstruida en su totalidad a partir del levantamiento fotogramétrico de parte de elementos, todavía existentes y diseminados en distintos lugares. La técnica permite combinar de forma hiperrealista imágenes reales y virtuales, ofreciendo al espectador un recorrido virtual "mixto" de la nave central de la catedral al incorporar el modelo virtual reconstruido en la ubicación para el que fue originalmente diseñado. La metodología propuesta supone una nueva estrategia de visualización de este tipo de elementos que, de forma inmersiva e interactiva, económica, y ubicua, ha de permitir un avance en la difusión y recuperación del patrimonio descontextualizado.

Palabras clave: Levantamiento fotogramétrico; coros góticos; modelos virtuales; restauración

Citación

Sánchez-Riera, A. *et al.* (2022). Fotogrametría y realidad mixta para la Recuperación del patrimonio descontextualizado. El coro gótico de la catedral de Girona. *ACE: Architecture, City and Environment*, 17(50), 11749. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.17.50.11749>

Combination of photogrammetry and mixed reality in the recovery of decontextualized heritage. The gothic choir of Girona cathedral

Abstract

The decontextualization of the historical-artistic heritage to which a large part of the Spanish ecclesiastical centres has been subjected, is a clear example of the progressive loss of cultural heritage. The artwork, once it's outside of the place for which it was originally conceived, is completely distorted, preventing historians, scientists, or visitors, from contemplating it entirety or to establish any hypothesis about its origin and original configuration. Inspired by the case of the Gothic stalls of the Cathedral of Girona, currently completely dismantled, this article presents a virtual reconstruction exercise to be integrated into an application for interactive visualization of the complex in its original context. For this, equirectangular images of the current building are geometrically integrated with the virtual model of the stalls reconstructed from the photogrammetric survey of part of the elements, still existing and scattered in different places. The technique makes it possible to hyper-realistically combine real and virtual images, offering the viewer a "mixed" virtual tour of the central nave of the cathedral by incorporating the reconstructed virtual model in the originally designed location. The proposed methodology supposes a new visualization strategy of this type of elements that, in an immersive and interactive, economic, and ubiquitous way, must allow an advance in the dissemination and recovery of decontextualized heritage.

Keywords: Photogrammetry; gothic choirs; virtual models; restoration

¹ Dr. Arquitecto, profesor lector, Departamento de Representación Arquitectónica, RA, Universitat Politècnica de Catalunya, UPC (ORCID: [0000-0003-0093-2345](https://orcid.org/0000-0003-0093-2345); Scopus Author ID: [55301158600](https://orcid.org/55301158600)), ² Doctorando, Departamento de Representación Arquitectónica, RA, Universitat Politècnica de Catalunya, UPC (ORCID: [0000-0002-0079-0802](https://orcid.org/0000-0002-0079-0802)) ³ Dr. Arquitecto, profesor lector, Departamento de Representación Arquitectónica, RA, Universitat Politècnica de Catalunya, UPC (ORCID: [0000-0002-5511-4043](https://orcid.org/0000-0002-5511-4043)). Correo de contacto: albert.sanchez.riera@upc.edu

1. Introducción

El desmantelamiento de la sillería del coro de la Catedral de Girona iniciado en 1936 y finalizado en 1974 para ser trasladada parcialmente a la capilla conventual, donde está en la actualidad, es un claro ejemplo de la descontextualización, y consecuente pérdida, del patrimonio cultural y arquitectónico. Las recientes técnicas de restauración fotogramétrica combinadas con técnicas de visualización inmersivas podrían volver a mostrar, de forma muy asequible, este tipo de creaciones en su contexto, devolviéndoles, virtualmente, su esplendor original.

El presente escrito parte de la experiencia previa de levantamientos en entornos similares realizados por los autores (Pàmies et al., 2021; Sánchez Riera et al., 2022a, 2022b), para mostrar un ejemplo completo de restauración virtual, a partir de los estalos, figuras y componentes originales que se conservan en la actualidad en distintos lugares, consiguiendo exponer, de forma inmersiva e interactiva, el conjunto completo en su ubicación inicial. La experiencia de recrear el interior de la Catedral, previo a su destrucción, ha de permitir entender mejor el espacio original y las jerarquías establecidas entre los canónigos del cabildo capitular, distribuidas por cercanía a la gran silla episcopal y por altura. Se contribuye así a una mayor difusión y entendimiento de la disposición y de los usos del entorno coral, que se mantuvo durante más de 600 años. Para ello, previa a una descripción del contexto histórico, se procede al estudio de la escasa documentación conservada. Seguidamente se describen las técnicas utilizadas y las hipótesis asumidas en el levantamiento y en la reconstrucción de los elementos conservados, para proseguir con la esquematización de la metodología desarrollada hasta su visualización en el aplicativo. Finalmente se presentan ejemplos de las escenas resultantes y se extraen conclusiones, que han de servir de base para futuros trabajos.

2. Contexto histórico

Es sabido que las sillerías góticas del coro de las Catedrales se situaban generalmente en la nave central enfrente del altar mayor, donde, a cada lado se sentaban de manera jerárquica los miembros del clero. Los coros góticos españoles, datados entre las últimas décadas del siglo XV y a lo largo del XVI, tuvieron gran influencia artística alemana y de los Países Bajos justo cuando las grandes catedrales se habían terminado de construir (Vaz & Bote, 2020).

A mediados del siglo XVI se ordenó el cambio de los coros de las iglesias monásticas, que fueron desmantelados por razones estéticas y destruidos fríamente en la mayoría de los casos (Navascués Palacio, 1998). De manera que, estos conjuntos corales ya no pueden contemplarse en el espacio para el que fueron concebidos originalmente, se encuentran descontextualizados y en la mayoría de los casos tan solo conservados parcialmente.

El caso que nos ocupa, la Catedral de Girona, es ampliamente conocido en el entorno arquitectónico por la polémica que desarrolló sobre la conveniencia o no de una sola nave o tres naves principales (Molina Figueras, 2004).

El cónclave convocado en 1416 para decidir cómo seguir su construcción, es un caso único de Congreso de Arquitectos góticos que se encuentra bien documentado, y que ha generado numerosa literatura y polémica (Carrasco Hortal, 2004). Su sillería, actualmente completamente desmantelada, se cree realizada entre los años 1351-1353 y su autoría se vincula a Maestre Aloy de Montbrai, de origen francés, y Maestro Ferrer, de origen español (Catot & Fonoyet, 2001).

En relación con la configuración original del coro existen ciertas discrepancias referentes a su composición inicial. Por una parte, se sostiene que tenía un coro alto y un coro bajo, y que fueron sustituidos por una sillería nueva en el siglo XVI, y por otra parte se cree que el coro se trasladó en el siglo XVIII (Josep M. Marquès i Planagumà, 2008) En todo caso, la silla episcopal esculpida por Aloi de Montbrai sí se ha mantenido, y es prueba de la maestría escultora gótica. En 1726 se encargan las sillas adicionales a Pere y Pau Costa, con madera de Olot, que entregan el mismo año.

Las imágenes consultadas datan de principios del siglo XX, y muestran una sillería colocada en el centro de la nave principal compuesta por un total de 82 estalos, 36 componían el coro bajo y 46 el alto (Figura 1). Su configuración en forma de U disponía la silla del obispo en la parte alta del eje central. Dos sillas adicionales reconvertidas de antiguos pasos de entrada y salida finalizan dicha disposición. El trascoro formado por una estructura porticada rodeaba el conjunto y contenía en el centro una escultura de cristo crucificado. En su parte superior albergaba el antiguo órgano accesible por una escalera desde el interior, y coronado por diversas esculturas con motivos celestiales.

Figura 1. Configuración original del conjunto del coro en la nave central a principios del s. XX



Fuente: Fuente: CRDI Ayuntamiento de Girona.

En el año 1936, se desmonta parcialmente el órgano y se derriban los muros del coro quedando la sillería expuesta a la vista (Nadal i Farreras, 2017). En 1940 se decide desmontar totalmente el órgano, para sustituirlo por uno nuevo (Puigvert i Solá, 2017).

Parte de la sillería, que había quedado en su lugar, será finalmente desmontada para llevarla a la Capilla Conventual, donde está en la actualidad (Nadal Farreras, Joaquim; Domenech Casadevall, 2015) (Figura 2).

La situación de deslocalización del Coro en la actualidad es la siguiente: La silla episcopal, que resta intacta en estilo gótico y dos hileras de sillas de 5 y 7 sillas cada una, un total de 24 sillas, se encuentran en la capilla conventual de la Catedral.

En el acceso al claustro se localizan un par de sillas, y otra silla más, compuesta de los círculos que componían el acceso entre el coro alto y el bajo, se encuentra en una capilla de la Catedral (Figura 3).

Figura 2. Proceso de derribo del trascoro en 1927



Fuente: elaboración propia a partir de imágenes del CRDI Ayuntamiento de Girona. Notas: (A), el coro con el órgano desmantelado (B), y desmontaje definitivo del coro con el nuevo órgano actualmente conservado (C).

Figura 3. Comparación entre distintos elementos ubicados la sala capilla conventual y alrededores y el resultado de su levantamiento fotogramétrico



Fuente: elaboración propia. Notas: (A) silla episcopal. (B) Hileras de sillas. (C) Silla reconvertida, antiguo paso entre el coro alto y bajo. (D) dos sillas originales.

Además, los ángeles que reposaban en lo alto de los tubos del órgano se encuentran almacenados en el acceso de la Catedral al Claustro. Otras hileras de sillas se llevaron a la parroquia de Canet de Mar, donde se encuentran en el presbiterio. En la Fundación Mauri, en La Garriga (Figura 4), reposan cerca de 40 respaldos góticos traseros, atribuidos a Aloi de Montbrai, que cerraban el coro Alto con figuras esculpidas, algunos enteros y otros parcialmente conservada la filigrana superior.

Figura 4. Ubicación de los respaldos de la sillería actualmente reconstruidos en la Fundación Mauri



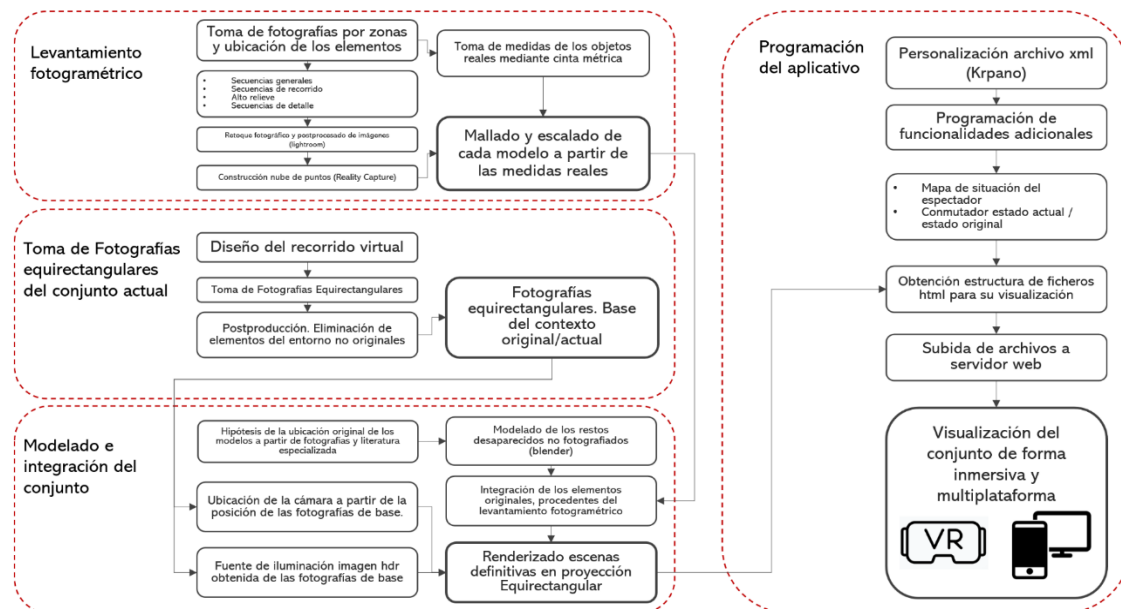
Fuente: <https://www.lamira.cat/visions/1701/el-cor-de-girona-es-a-la-garriga#lg=1&slide=0>

Todas estas piezas forman parte del levantamiento propuesto en este estudio, reubicándolas virtualmente en su posición original para su visualización interactiva.

3. Metodología

La reconstrucción del conjunto consta de 4 pasos principales: (1) levantamiento fotogramétrico de cada uno de los elementos conservados en la actualidad; (2) Realización fotografías equirectangulares del conjunto actual; (3) Modelado y Renderización del conjunto en proyección equirectangular, e Integración de las imágenes; (4) Programación del aplicativo y visualización del conjunto. Todos ellos resumidos en el siguiente esquema metodológico (Figura 5).

Figura 5. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia.

3.1 Levantamiento fotogramétrico

El levantamiento se ha realizado por ubicaciones. En la sala conventual se han realizado un total de 140+123 fotos RAW de las hileras y capilla, junto a 221+77 fotos RAW solamente de la silla episcopal, por la complejidad del mueble y de las tallas. En el acceso al claustro se han capturado un total de 66 fotos RAW de dos estalos aislados del resto de hileras. En la capilla de la nave central se ha realizado el levantamiento fotogramétrico mediante captura de 39 fotos RAW de un antiguo acceso al coro reconvertido en silla.

En la fundación Mauri en la Garriga se ha realizado el levantamiento fotogramétrico consistente en la toma de 652 fotos RAW de los restos de respaldos de coro para la reconstrucción de 34 respaldos enteros o parciales. Finalmente, en los almacenes y otras ubicaciones dispersas por la catedral se han realizado 755 fotografías adicionales para el levantamiento de esculturas y elementos que formaban parte del trascoro y el antiguo órgano. Todas ellas se han realizado con una cámara NIKON D5200 con una resolución de 6000x4000px, una distancia focal de 18mm y apertura f/8. Los tiempos de exposición varían entre 4 y 15 segundos dependiendo de las condiciones de iluminación del modelo.

Para una mayor operatividad, en general los conjuntos se han dividido en 4 grandes zonas que corresponden a las zonas que posteriormente se ensamblan mediante el programa de modelado. En todos los casos se han superpuesto secuencias generales a distintas que incluyen el entorno de la iglesia, los planos generales y los coros alto y bajo. Se ha continuado con secuencias de medio recorrido y secuencias de alto relieve. Por último, se han realizado secuencias de detalle como los paneles de respaldo del coro alto, secuencias de 180° de los apoyabrazos, además de otros elementos de detalle como el atril, esculturas, etc...

Figura 6. Situación de la cámara para distintas secuencias y ejemplo de construcción de la nube de puntos resultante



Fuente: Elaboración propia.

Es importante señalar que deben realizarse mediciones en varios puntos, generales y de detalle ya que, a partir de estas referencias, el modelo, una vez ensamblado, será escalado con precisión milimétrica. Para ello, mediante una cinta métrica, se toman un mínimo de tres medidas de referencia que corresponden a los ejes x, y, z de cada elemento (Figura 7).

La generación de los modelos texturizados definitivos se realiza a partir del proceso de cálculo de la nube de puntos y posterior mallado con el software Reality Capture 1.1. El programa utiliza la alineación global de las secuencias tomadas y genera una nube de puntos alineada globalmente, integrando en ella las secuencias de fotos de 180°. El resultado del levantamiento fotogramétrico arroja un total de 28 modelos independientes, que deben ser unidos y escalados, todos ellos generados a partir de un número distinto de fotografías que, de forma proporcional, generarán mallas con un número variable de polígonos, que se resumen en la Tabla 1.

Figura 7. Ejemplo de toma de medidas reales para el posterior escalado de los modelos



Fuente: Elaboración propia.

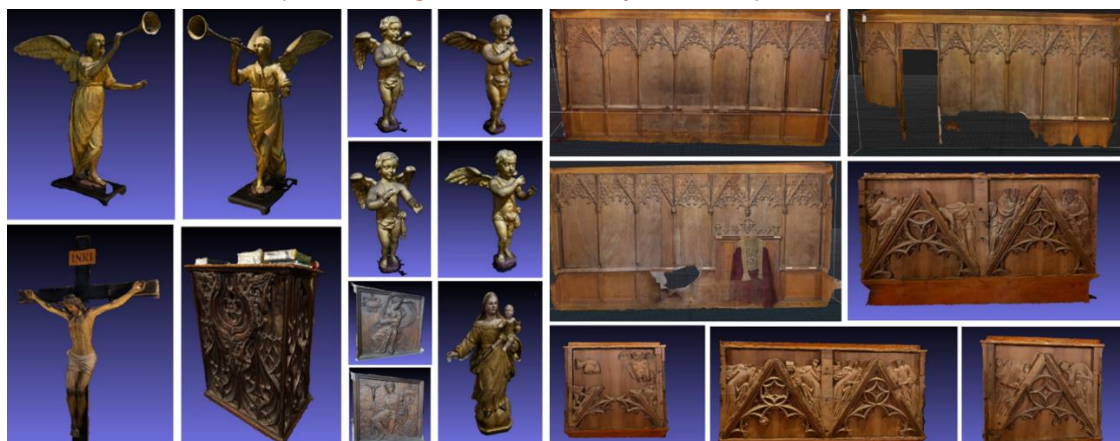
Tabla 1. Modelos descontextualizados generados mediante fotogrametría

Ubicación	Id.	Nombre	Num. de fotografías generadas	Num. de triángulos del modelo definitivo
sillería de coro	1	Silla episcopal	298	19.2 m
	2	Hilera 01	140	15 m
	3	Hilera 02	123	13.7 m
	4	Conjunto de 2 estalos aislados	66	13.6 m
	5	Estalo de paso aislado	39	7.2 m
respaldos de la sillería	6	Respaldos 01	110	1 m
	7	Respaldos 02	134	1 m
	8	Respaldos 03	96	890.2 k
	9	Respaldos 04	110	878.1 k
	10	Respaldos 05	37	141 k
	11	Respaldos 06	37	90 k
	12	Respaldos 07	20	80.7 k
	13	Respaldos 08	22	93.6 k
	14	Respaldos 09	43	7.9 m
	15	Respaldos 10	43	5.1 m
Elementos complementarios del órgano y trascoro	16	Escultura Ángel 01	85	1.4 m
	17	Escultura Ángel 02	111	1.3 m
	18	Escultura Ángel pequeño 01	33	537 k
	19	Escultura Ángel pequeño 02	41	562 k
	20	Escultura Ángel pequeño 03	38	754 k
	21	Escultura Ángel pequeño 04	42	562 k
	22	Cristo trascoro	105	938 k
	23	Mesa Obispo	31	402 k
	24	Panel Atril 01	25	561 k
	25	Panel Atril 01	29	574 k
	26	Panel Atril 01	23	646 k
	27	Panel Atril 01	30	651 k
	28	Virgen Atril	96	1.2 m
TOTALES			2007	95960.6 k

Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción precisa de cada uno de estos modelos individuales ha sido necesario el retoque manual de las fotografías tomadas en zonas oscuras o brillantes. En el caso de las sillerías, por ejemplo, la complejidad de los relieves esculpidos ha exigido la captura de fotografías en un rango de 180° para cada pieza (misericordia, apoyabrazos y paneles traseros y frisos) y el procesado de las imágenes para la eliminación de contraste en zonas oscuras. En el caso de las esculturas ha sido necesaria la minimización del brillo en determinadas zonas, que impedía la correcta interpretación de la geometría. Esto ha permitido reflejar perfectamente los relieves individuales en la nube de puntos de cada objeto por separado y, de forma global, en la totalidad del conjunto gótico generado. Además, tal y como se ha mostrado anteriormente (Figura 6), para cada pieza se han realizado distintas secuencias, combinando diferentes distancias y grados de detalle que han sido superpuestas en una secuencia global. De manera que el error del modelo se ha reducido a unos pocos milímetros. Esta estrategia de postproducción combinada con el uso de distintas distancias y ángulos para la toma de fotografías dota de gran realismo al objeto virtual resultante, pues minimiza los reflejos, y errores en el cálculo de la geometría final tal y como se muestra a continuación (Figura 8).

Figura 8. Resultado del levantamiento de distintas esculturas y elementos que formaban parte del órgano, del trascoro y de los respaldos de la sillería



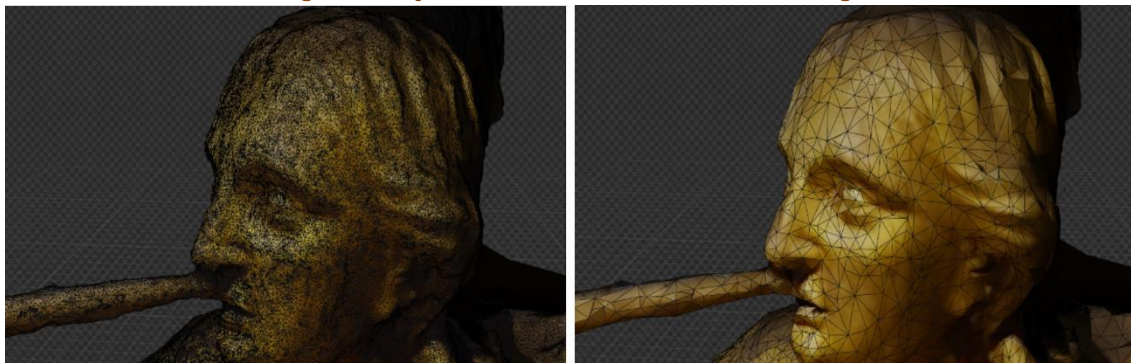
Fuente elaboración propia. Nota: ubicados en la Fundación Mauri en la Garriga. Numeración 6-28.

Para el cálculo de las nubes de puntos correspondientes a cada figura, ha sido necesario alinear las secuencias de imágenes superpuestas. Para ello se creó una malla tridimensional que incluye el coloreado y texturizado del entorno. El procesado y ajustes previos de las imágenes se han realizado con el programa Lightroom 6. Para la construcción de las nubes de puntos se utilizó el programa Reality Capture 1.1.

Una vez resuelta la nube de puntos, se han extraído las imágenes texturizadas con una resolución mínima de 8K, y se ha realizado la conversión a un modelo poligonal para poder ser utilizado en diferentes formatos y programas de modelado 3D. Los modelos resultantes arrojan una resolución cercana a los 8,4 millones de polígonos con un tamaño total de 3Gb.

El programa utiliza la alineación global de las secuencias tomadas e integra las secuencias fotográficas de 180° en el modelo generado. Para la construcción del modelo virtual definitivo, y con el objetivo de que resultara operativo, se ha utilizado el programa gratuito Blender 2.92, fragmentando la malla en distintas zonas y simplificando el modelo a partir de la reducción del número de polígonos, pero manteniendo el mapeado original, lo que ha permitido mantener la resolución de la imagen de textura intacta, tal como se muestra a continuación (Figura 9).

Figura 9. Ejemplo de Reducción del número de polígonos de un modelo generado mediante fotogrametría y mallado, manteniendo la textura original



Fuente elaboración propia.

Finalmente, tal como se ha comentado, el modelo resultante y reducido debe escalarse tomando como referencia las medidas reales tomadas en el trabajo de campo (figura 7). Esto permite su integración geométrica con el resto de los modelos y con el entorno, además permitirá la extracción de datos y medidas de forma más precisa y eficaz.

3.2 Realización fotografías equirectangulares del conjunto actual

Una vez realizado el levantamiento fotogramétrico, y obtenidos cada uno de los modelos de forma individual, se hace necesario el diseño del recorrido virtual que ha de permitir al usuario navegar e interactuar con él. Para ello deben considerarse puntos de vista representativos de la obra descontextualizada, y realizar las fotografías correspondientes a cada uno de estos puntos en 360º y de proyección equirectangular.

Figura 10. Izquierda: imágenes equirectangulares tomadas in situ. Derecha: recorrido planteado en torno a la sillería i trascoro de la catedral



Fuente: Elaboración propia a partir de las imágenes capturas y la posición de captura de las imágenes.

Estas imágenes, han de servir de base para la superposición del modelo virtual una vez ensamblado. En nuestro caso se eligieron 7 puntos estratégicos que llevan al usuario desde el acceso principal hasta el interior de la sillería, junto a la silla episcopal, ofreciendo dos opciones de recorrido inicial, izquierdo y derecho, tal y como puede observarse en la siguiente imagen (Figura 10).

Las imágenes fueron tomadas con una cámara Ricoh Theta z1 que permite la captura de imágenes fijas en calidad 23 MP (6720 × 3360, aprox. 7K). La postproducción de las imágenes se realizó con el programa gratuito GIMP 2.10.14. Para ello fue necesario eliminar los elementos no originales del entorno, como el pie de la cámara, bancos, cartelería, etc., elementos que, de otra manera, hubieran intersectado con el modelo virtual superpuesto (Figura 11).

Figura 11. Arriba: Imagen original en proyección equirectangular. Abajo: Imagen definitiva una vez eliminados los elementos del entorno no originales

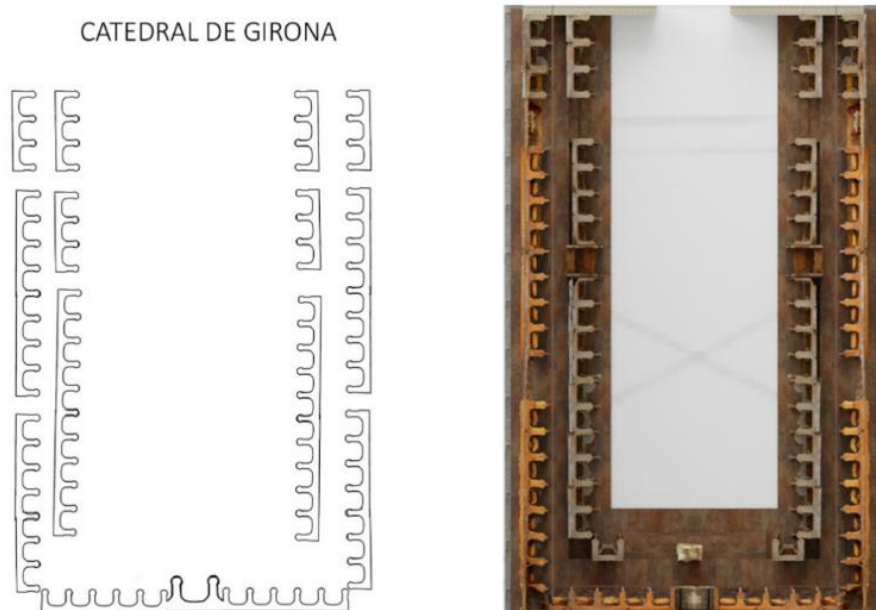


Fuente: elaboración propia a partir de las imágenes capturadas.

3.3 Modelado y Renderización del conjunto en proyección equirectangular. integración de las imágenes

Para el modelado del conjunto e integración de todos los elementos capturados se partió de una configuración inicial planteada por los autores de acuerdo con la lectura de diversas hipótesis, y del estudio meticuloso de las fotografías de principios de siglo. Entre ellas se detectaron una serie de discrepancias como son el número y disposición de estalos en el coro bajo (dos más en las hileras laterales y dos más en la hilera frontal junto a la silla episcopal) o la existencia de pasos dobles en la zona cercana al altar. La configuración definitivamente adoptada se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Izquierda: Esquema inicial planteado. Derecha: Configuración definitiva a partir del esquema i fotografías de principios del siglo XX



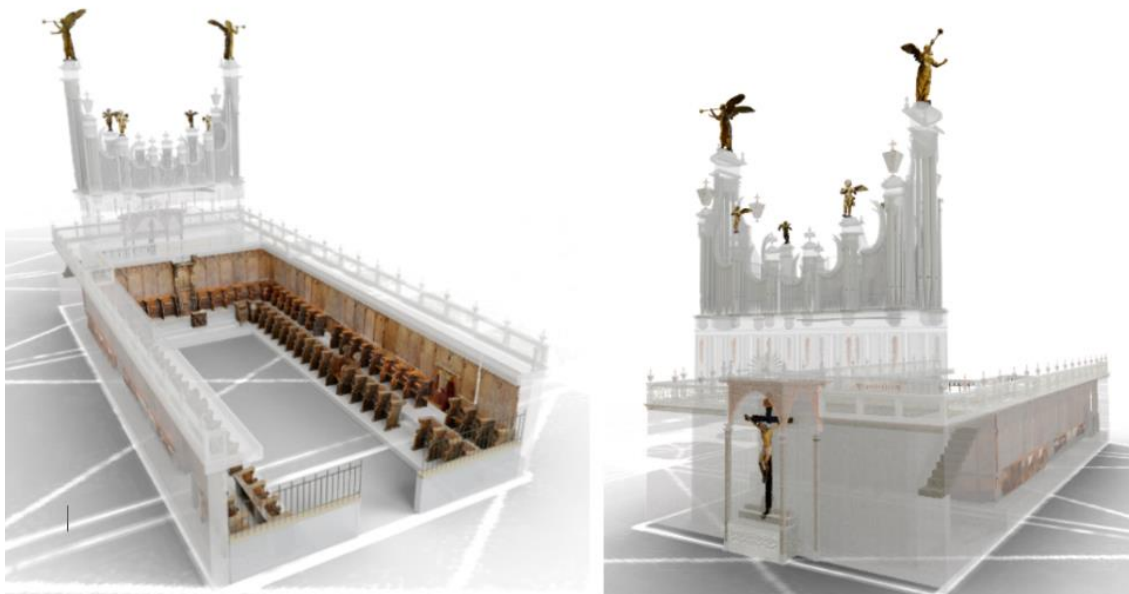
Fuente: Elaboración propia.

El modelado de los restos del trascoro y órgano desaparecidos se realizó igualmente a partir de imágenes y texturas de fotografías de la época. Para ello se utilizó el programa gratuito Blender en su versión 2.92. Para una mayor comprensión de la reconstrucción, se muestra a continuación imágenes de los elementos modelados, representados en blanco, y los procedentes del levantamiento fotogramétrico, representados en color (Figura 13).

Una vez modelado el conjunto y habiendo integrado los elementos originales descontextualizados, procedentes del levantamiento fotogramétrico, se procedió a renderizar en proyección equirectangular las imágenes que habrían de formar parte de la escena definitiva. Para la integración en proyección equirectangular fue necesario ubicar la cámara en el mismo punto de vista y orientación que los utilizados en la captura del entorno y establecer una resolución igual a la de la imagen de base original.

Para la iluminación del conjunto se utilizó la misma imagen del entorno en formato *.hdr que permitió imitar las condiciones de iluminación del contexto consiguiendo un resultado más realista y parecido a la iluminación original bajo la que se construyó la sillería (Figura 14).

Figura 13. Representación de los elementos modelados (en blanco) y los procedentes del levantamiento fotogramétrico (en color). Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Arriba: imagen en proyección equirectangular del estado actual. Debajo: Superposición del modelo renderizado en su contexto utilizando el mismo punto de vista, orientación y resolución, y una vez eliminados los elementos del entorno no originales.





Fuente: elaboración propia.

3.4 Programación del aplicativo y visualización del conjunto.

Para la visualización del resultado se ha utilizado el programa KRPANO en su versión 1.20.9 que permite la creación de una estructura de ficheros de base en formato html para su visualización web mediante ordenador portátil, dispositivo móvil o gafas de Realidad Virtual desde cualquier lugar. La configuración por defecto es muy sencilla y ha sido necesario personalizar ciertas funcionalidades mediante la programación de un fichero de configuración xml. Entre ellas destaca la creación de un mapa de situación que indica la posición y orientación del espectador, además de iconos y opciones que permiten comparar el estado actual con el original. Previa a una pantalla inicial con instrucciones sobre el uso del aplicativo, el usuario navega por distintos puntos de vista de forma inmersiva de acuerdo con el recorrido planteado inicialmente (Figura 15). A su vez es, capaz decidir el modo de visualización, actual u original.¹

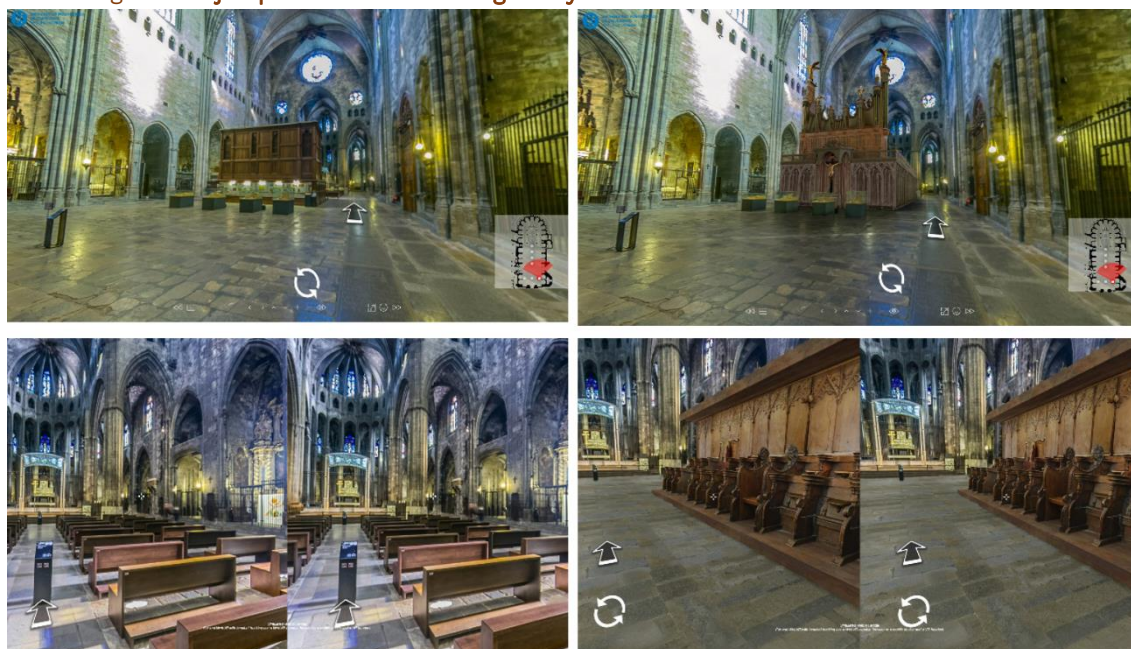
4. Conclusiones

En este trabajo se ha mostrado el proceso multidimensional de reconstrucción de un conjunto patrimonial actualmente desmantelado y conservado parcialmente en la misma catedral o en distintas zonas de la geografía catalana. El modelo virtual resultante, extraído a partir de técnicas fotogramétricas, se ha integrado en su entorno original generado a partir de fotografías 360º en proyección equirectangular, para posteriormente desarrollar una aplicación que permite su visualización de forma ubicua e interactiva en un entorno inmersivo mezclando contenido real y virtual.

Esta técnica de “Recontextualización” se ha mostrado eficaz para la comprensión espacial y arquitectónica de la construcción de este importante recinto religioso, permitiendo al visitante contemplar un enorme espacio alterado, con una configuración y usos actuales muy distintos a lo que se llevaban a cabo cuando el coro estaba en funcionamiento,

¹ El resultado puede verse en: <http://kilovatiora.site/vtours/CatedralGirona/tour.html>

Figura 15. Ejemplos de distintas imágenes y modos de visualización del resultado final



Fuente: elaboración propia. Notas: Arriba: estado actual (izquierda) estado original (derecha). Abajo: Visualización inmersiva del contexto actual (izquierda), y del contexto original (derecha).

En relación con el levantamiento fotogramétrico de las sillas estudiadas, el uso de largas secuencias de fotos superpuestas se ha mostrado de gran utilidad a la hora de ajustar puntos de control con diferentes alineaciones. Asimismo, es recomendable el retoque manual de las fotografías tomadas en zonas oscuras y brillantes. La complejidad de los relieves esculpidos en la mayoría de casos requiere que se tomen fotografías en un rango de 180° de cada pieza (misericordia, apoyabrazos y paneles traseros, frisos, esculturas), para que los relieves individuales queden perfectamente reflejados en la nube de puntos global del conjunto gótico.

Este procesado multi-secuencia es más eficaz si la toma de fotografías se realiza combinando diferentes distancias y grados de detalle para cada pieza y el software de procesado identifica las secuencias de 180° para superponerlas a un recorrido global. Esto reduce el error del modelo a unos pocos milímetros, aunque la nube de puntos resultante es muy densa y el tamaño del modelo 3D resulta poco operativo, de manera que es preciso su simplificación manteniendo en todo caso el mapeado y la textura original para minimizar la pérdida de calidad en la escena.

En cuanto a la descontextualización de elementos artísticos, la técnica empleada en este artículo permite comprender y admirar el valor del conjunto coral en su contexto original. La integración geométrica de imágenes *equirectangulares* con elementos reconstruidos virtualmente a partir de fragmentos originales, ha permitido combinar imágenes reales y virtuales de forma hiperrealista, ofreciendo al espectador, de forma interactiva e inmersiva, un recorrido virtual “mixto” por la nave central de la catedral que incorpora la maqueta virtual en el lugar para el que fue diseñada originalmente. El resultado de la metodología aplicada supone una nueva estrategia en la difusión del patrimonio descontextualizado que, de forma interactiva, ubicua y universal, avanza en la reconstrucción de elementos patrimoniales descontextualizados. Su aplicación en otros elementos patrimoniales extraviados ofrece nuevas perspectivas para su implementación, de forma asequible y económica.

Agradecimientos

Al Sr. Joan Piña Pedemonte, director del *museu Tresor de la Catedral de Girona*, por su colaboración en el trabajo de campo.

Autoría

El primer autor ha ideado la investigación, ha escrito el trabajo en su totalidad, y ha programado el aplicativo; el segundo autor ha realizado el trabajo de campo, toma de datos convertido el modelo de nube de puntos a una malla poligonal y el tercer autor ha contribuido en la conceptualización de la investigación y revisión del texto.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Bibliografía

Carrasco Hortal, J. (2004). El legado de las obras cercanas: referentes para el proyecto de gran nave de Girona. *Annals de l'institut d'Estudis Gironins*, XLV, 161–187. Recuperado de <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/6870/54514.pdf?sequence=1>

Catot, L. F., & Fonoyet, L. (2001). El cadirat del cor de la catedral de Girona. *Lauro: Revista Del Museu de Granollers*, 20 SE-Treballs. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Lauro/article/view/48351>

Josep M. Marquès i Planagumà. (2008). “Documents sobre l'orgue de la Seu de Girona, 1363-1496”. *Annals de l'institut d'Estudis Gironins*, XLIX, 227–235. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/AnnalsGironins/article/view/121017/196108>

Molina Figueras, J. (2004). Arnau de Montrodon y la catedral de San Carlomagno. Sobre la imagen y el culto al emperador carolingio en Gerona. *Anuario de Estudios Medievales*, 34(1), 417–454. DOI: <https://doi.org/10.3989/aem.2004.v34.i1.190>

Nadal Farreras, Joaquim; Domenech Casadevall, G. (2015). *Patrimoni i Guerra. Girona 1936-1940* (A. de Girona (ed.)).

Nadal i Farreras, J. (2017). El cor i l'orgue de la catedral de Girona entre dues visites pastorals (1930 i 1940) separades per una guerra. In A. Velasco & M. Sureda (Eds.), *La Salvaguarda del patrimoni religiós català durant la guerra civil espanyola: III Jornada Museus i Patrimoni de l'Església a Catalunya (Girona, 2015)* (pp. 98–127). Museu d'Art de Girona. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10256/16544>

Navascués Palacio, P. (1998). Teoría del coro en las Catedrales españolas. In *Teoría del coro en las catedrales españolas: discurso del académico electo Pedro Navascues Palacio; y contestación, Fernando Chueca Goitia* (pp. 1–133). Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

Pàmies, C., Navarro, I., Sánchez Riera, A., & Redondo, E. (2021). Digital Representation of Virtual Reality Environments of Gothic Choirs Using Photogrammetric 3D Models: Monasteries of Yuste and Nájera BT. In C. Stephanidis, M. Antona, & S. Ntoa (Eds.), *HCI International 2021 - Late Breaking Posters* (pp. 331–338). Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-90179-0_43

Puigvert i Solá, J. M. (2017). La salvaguarda del patrimoni religiós català durant la Guerra Civil Espanyola. In *La Generalitat republicana i el salvament de l'art religiós: accions, pràctiques i discurs polític Joaquim*.

Sánchez Riera, A., Pàmies Sauret, C., & Navarro Delgado, I. (2022a). Nuevas estrategias para la visualización y difusión del patrimonio descontextualizado. El caso de la sillería de la catedral de Oviedo. *EGA Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 27(44), 40–49. DOI: <https://doi.org/10.4995/ega.2022.15960>

Sánchez Riera, A., Pàmies Sauret, C., & Navarro Delgado, I. (2022b). Mixed virtual tour for the dissemination of the decontextualized heritage. the Oviedo cathedral choir stalls. In Building Technology R&D Group (GTED-UC) (Ed.), *REHABEND 2022. CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND HERITAGE MANAGEMENT HERITAGE MANAGEMENT* (pp. 2467–2475). University of Cantabria. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/urlFiles?idDrac=34333775>

Vaz, A. M., & Bote, M. T. R. (2020). La aportación de los entalladores septentrionales a los coros españoles de finales del gótico y comienzos del renacimiento. *DigitAR - Revista Digital de Arqueología, Arquitectura e Artes, EX2*. DOI: https://doi.org/10.14195/2182-844X_EX2_3