

Virtual reconstruction of decontextualized heritage the case of the Cathedral of Girona

Advances in photogrammetric surveys and immersive visualization through Virtual Reality (VR) have brought about a revolution in all areas of architectural representation. Architectural heritage has not escaped this revolution, since these techniques make possible the recovery of heritage elements that are currently missing or decontextualized, which otherwise would not be possible to contemplate. This article develops a paradigmatic case in this field such as the recovery of the Gothic choir of the Cathedral of Girona, completely dismantled and partially preserved in different locations of the Spanish geography. Based on previous work of recontextualization of similar environments carried out by the authors (Sánchez Riera et al., 2022a), this paper describes the construction of a virtual and hyperrealistic immersive model of the missing ensemble and its original context. The geometric and luminic integration of both models is shown in a self-de-

veloped application and different scenes built by means of its use are exemplified. The proposal allows the interactive visualization of the complex by switching between its current and original states. The possibility of consulting additional information on certain singular elements, now disappeared or decontextualized, in the very location for which they were originally conceived, aims to promote their study and dissemination. It will also make it possible to establish hypotheses about their original design, use and configuration, ultimately promoting the conservation of architectural heritage that would otherwise remain forgotten



Carles Pàmies
PhD student in Architectural Visualization at ETS de Arquitectura de Barcelona ETSAB-UPC. Degree in Information Sciences from the Universitat Autònoma de Barcelona UAB. Master's Degree in Communication and Education from the UAB. Specialized in photogrammetry applied to Architecture and visual representation of Gothic environments. An audiovisual producer with long professional experience.



Albert Sánchez Serra
Hunter tenure-track lecturer in the Department of Architectural Representation (AR) at the UPC. Member of the QURBIS research group. His research focuses on the evaluation of AR and VR technologies using immersive and collaborative systems, delving into their application in energy efficiency, constructive processes, heritage safeguard, and spatial perception of people with disabilities.



Isidro Navarro
PhD Architect, lecturer in the Department of Architectural Representation at UPC. Researcher in AR, VR, Metaverses, and AI applications. Member of QURBIS research group. Founding entrepreneur of two companies (Inarquitectura and Labs4Reality). Coordinator and director of master's degrees, thesis direction, and technological dissemination as founder of AWE Nite Barcelona. The lines of research are innovation in technology for sectors such as architecture and video games, business, design, health, and multimedia.

Keywords:
Photogrammetry, gothic art, virtual reality, cultural heritage

BACKGROUND

The gothic choir stalls of cathedrals in the Iberian Peninsula were generally located in the central nave in front of the high altar in the so-called 'Spanish mode', where, on each side, the clergy members were seated hierarchically. The Spanish Gothic choirs, dated between the last decades of the 15th century and throughout the 16th century, had great artistic influence from Germany and the Netherlands just when the great cathedrals had been completed (Vaz & Bote, 2020). In the middle of the 16th century, the choirs of the monastic churches were ordered to be changed, which were dismantled for aesthetic reasons and coldly destroyed in most cases (Navascués Palacio, 1998). Thus, these choral ensembles can no longer be contemplated in the space for which they were originally conceived, they are decontextualized and, in most cases, only partially preserved.

The case that concerns us, the Cathedral of Girona, is widely known in the architectural environment for the controversy that developed about the convenience or not of a single nave or three main naves (Molina Figueras, 2004). The conclave convened in 1416 to decide how to continue its construction is a unique case of a well-documented Congress of Gothic architects, which has generated a great deal of literature and controversy (Carasco Hortal, 2004). The original masonry, now completely dismantled, is believed to have been made between 1351-1353, and its authorship is linked to Maestre Aloy de Montbrai, of French origin, and Maestro Ferrer, of Spanish origin (Catot & Fonoyet, 2001).

In relation to the original configuration of the choir, there are certain discrepancies regarding its initial composition. On the one hand, it is argued that it had a high choir and a low choir and that they were replaced by new choir stalls in the 16th century, and on the other hand it is believed that the choir was moved in the 18th century (Josep M. Marquès i Planagumà, 2008). In any case, the episcopal chair sculpted by Aloi de Montbrai has been maintained and is proof of the Gothic sculptural mastery. In 1726 additional chairs were

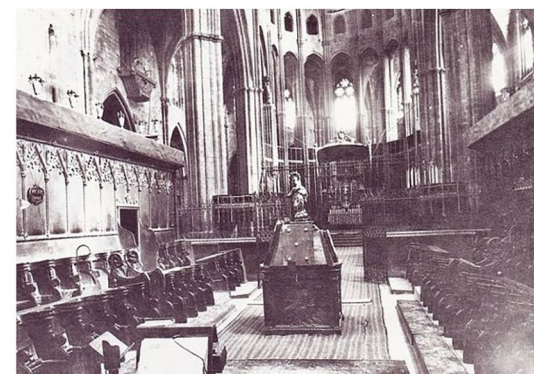


Fig. 1 - Condition of the original masonry. (CRDI Girona City Council)

commissioned to Pere and Pau Costa, with wood from Olot, which they delivered the same year.

The images consulted date from the beginning of the 20th century, and show stalls placed in the center of the main nave composed of a total of 82 stalls, 36 made up the lower choir and 46 the upper one. Its U-shaped configuration had the bishop's chair at the top of the central axis. Two additional chairs converted from the old entrance and exit steps complete this arrangement. The retro-choir formed by an arcaded structure surrounded the whole and contained in the center a sculpture of the crucified Christ. It housed the old organ in its upper part, accessible by a stairway from the interior, and crowned by various sculptures with celestial motifs (Figure 2).

In 1936, the organ was partially dismantled and the walls of the choir were demolished, leaving the masonry exposed to view (Nadal i Farreras, 2017). In 1940, it was decided to completely dismantle the organ in order to replace it with a new one (Puigvert i Solà, 2017). Part of the choir stalls, which had been left in place, will finally be dismantled to be taken to the Conventual Chapel, where it is today (Nadal Farreras, Joaquim; Domenech Casadevall, 2015) (Figure 3).



The situation of dispersion of the Choir at present is as follows: The Episcopal chair, which remains intact in Gothic style, and two rows of chairs of 5 and 7 chairs each, a total of 24 chairs, are located in the conventual chapel of the Cathedral. A pair of chairs is located in the access to the cloister, and another chair, composed of the carved circles that

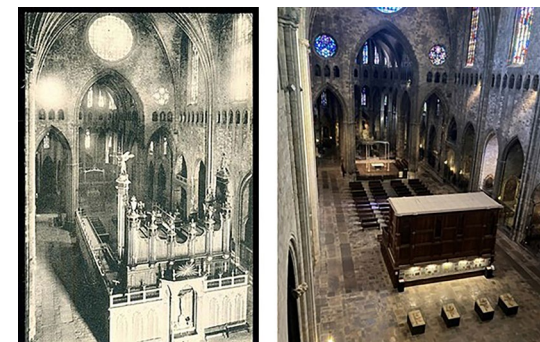


Fig. 2 - View of the original gothic masonry (left) and its current state, completely dismantled (right). (Own elaboration from photograph of CRDI Ayuntamiento de Girona)

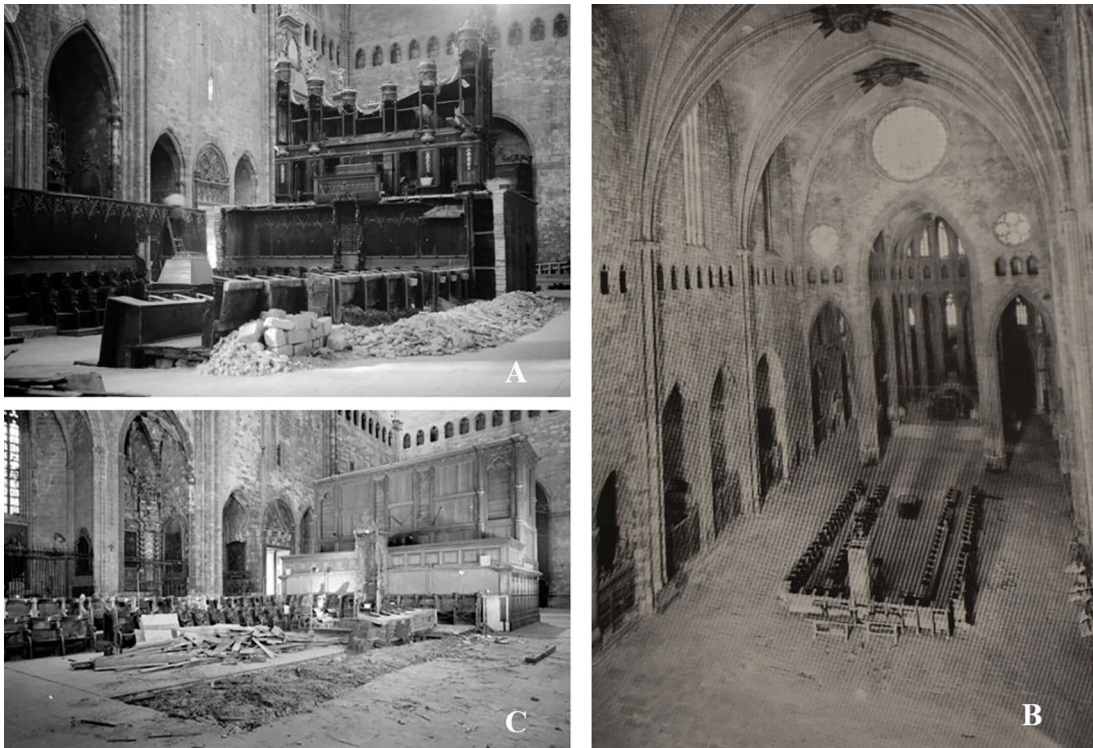


Fig. 3- The process of demolishing the choir loft in 1927 (A), the choir loft with the dismantled organ (B), and the definitive dismantling of the choir loft with the new organ (C). (CRDI Girona City Hall)

compose the access between the high and low choir, is located in a chapel of the Cathedral. The Gothic panels that adorned the entire surrounding wall are partially collected in a private museum, the Fundació Mauri, in the town of La Garriga, Barcelona. The panels that formed the central lectern of the ashlar and the virgin that crowned it are stored in the Cathedral's storerooms. In this context, similar to that of many of the Spanish cathedrals, the need to recontextualize all the dismantled elements still exists, for their geometric and luminous integration in a three-dimensional model formed by the photogrammetric

survey of these preserved elements and the rest of the missing choir, built from historical photographs. The resulting model, which will form the entire Gothic choir, will be integrated into its original context, the central nave of the cathedral, built virtually from laser scanning and photogrammetry. Similar strategies have been proposed for the recovery of similar heritage elements (Pàmies et al., 2021; Sánchez Riera et al., 2022b), in which the same photogrammetric techniques described in this article are used, but either the integration of these elements in their original context is not

proposed, or this integration is based on equirectangular photographs, which allow a limited interaction from the construction of the scene at certain points of a pre-established virtual tour. The proposal developed here proposes a new strategy based on the total interaction of the constructed model, from any point of view and any place freely chosen by the viewer.

METHODOLOGY

The virtual reconstruction of the choral ensemble consists of 4 phases: (1) Photogrammetric survey of the currently preserved elements; (2) Survey of the nave of the Cathedral using a mixed technique of photogrammetry and laser scanning; (3) Modeling and integration of the preserved elements in a single optimized mesh; (4) Programming of the immersive application and visualization of the ensemble. All of them are summarized from the following methodological scheme (figure 4).

1. Photogrammetric survey of the elements currently preserved.

The survey was carried out by location. In the convent hall, a total of 140+123 RAW photos of the rows and chapel were taken, together with 221+77 RAW photos of the episcopal chair alone, due to the complexity of the piece of furniture and the carvings. In the access to the cloister, a total of 66 RAW photos of two seats isolated from the rest of the rows have been captured. In the chapel of the central nave, a photogrammetric survey has been carried out by capturing 39 RAW photos of old access to the choir converted into a chair. In the Maurí Foundation in La Garriga, a photogrammetric survey was carried out by taking 652 RAW photos of the remains of the choir backrests for the reconstruction of 34 whole or partial backrests. Finally, in the storerooms and other locations scattered around the cathedral, 755 additional photographs were taken for the survey of sculptures and elements that were part of the choir loft and the old organ. All of them have been taken with a NIKON D5200 camera with a resolu-

tion of 6000x4000px, a focal length of 18mm, and aperture f/8. Exposure times vary between 4 and 15 seconds depending on the lighting conditions of the model. For greater operability, in general, the assemblies have been divided into 4 large areas corresponding to the areas that are subsequently assembled by the modeling program. In all cases, general sequences have been superimposed on different ones, including the surroundings of the church, the general planes, and the choir loft and choir loft. This has been followed by medium and high relief sequences. Finally, detail sequences such as the back panels of the choir loft, 180° sequences of the armrests, as well as other detail elements such as the lectern, sculptures, etc., have been made.

It is important to point out that measurements must be taken at several points, general and detailed, since, from these references, the model, once assembled, will be scaled with millimeter precision. For this, using a tape measure, a minimum of three reference measurements are taken, corresponding to each element's x,y,z axes. For each piece, in addition, different sequences have been made, combining different distances and degrees of detail that have been superimposed in a global sequence, so that the errors of the model are reduced to a few millimeters. This post-production strategy, combined with the use of different distances and angles for taking photographs, gives great realism to the resulting virtual object, as it minimizes reflections and errors in the calculation of the final geometry [Figure 5, 6].

The generation of the final textured models is carried out from the process of calculating the point cloud and subsequent meshing with the Reality Capture 1.1 software. The program uses the global alignment of the sequences taken and generates a globally aligned point cloud, integrating the 180° photo sequences. The result of the photogrammetric survey yields a total of 28 independent models, which must be joined and scaled, all of them generated from a different number of photographs that, proportionally, will generate meshes with a variable number of polygons, and which are summarized in the following table (Table 1).

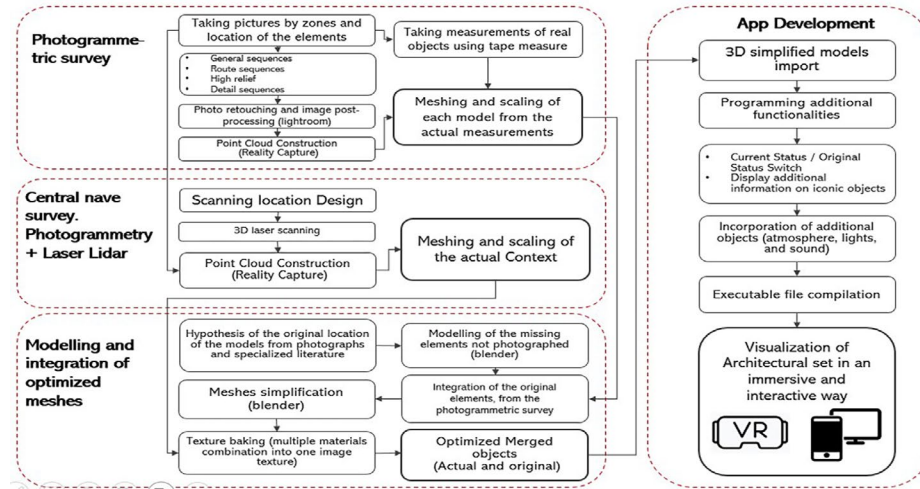


Fig. 4 -Proposed methodology. (Own elaboration)



Fig. 5 -Comparison between different elements located in the conventual chapel hall and its surroundings and the result of the photogrammetric survey. (A) Episcopal chair (B) Rows of chairs (C) Reconverted chair, old passage between the upper and lower choir (D) two original chairs. (Own elaboration)



Fig. 5 -Example of photographic captures of decontextualized elements. (Own elaboration)

The precise construction of each of these individual models has required manual retouching of photographs taken in dark or bright areas. In the case of the chairs, for example, the complexity of the sculpted reliefs has required the capture of photographs in a range of 180° for each piece (mercy, armrests and back panels and friezes) and the processing of the images to eliminate contrast in dark areas. In the case of the sculptures it has been necessary to minimize the brightness in certain areas, which prevented the correct interpretation of the geometry. This has made it possible to perfectly reflect the individual reliefs in the point cloud of each object separately and, globally, in the entire Gothic ensemble generated.

In addition, as mentioned above, different sequences have been made for each piece, combining different distances and degrees of detail that have been superimposed in a global sequence. In this way, the model error has been reduced to a few millimeters. This post-production strategy combined with the use of different distances and angles for taking photographs gives great realism

Location	Id.	Nombre	Num. de fotografías	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 Angel 01	85	1.4 m
		17	Escultura Angel 02	111	1.3 m
		18	Escultura Angel pequeño 01	33	537 k
		19	Escultura Angel pequeño 02	41	562 k
		20	Escultura Angel pequeño 03	38	754 k
21		Escultura Angel 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	

Table 1 -Decontextualized models generated by photogrammetry. (Own elaboration)



Fig. 7 -Result of the lifting of different sculptures and elements that were part of the organ, the choir loft and the backs of the choir stalls located in the Mauri Foundation in La Garriga. Numbering 6-28. (Own elaboration)

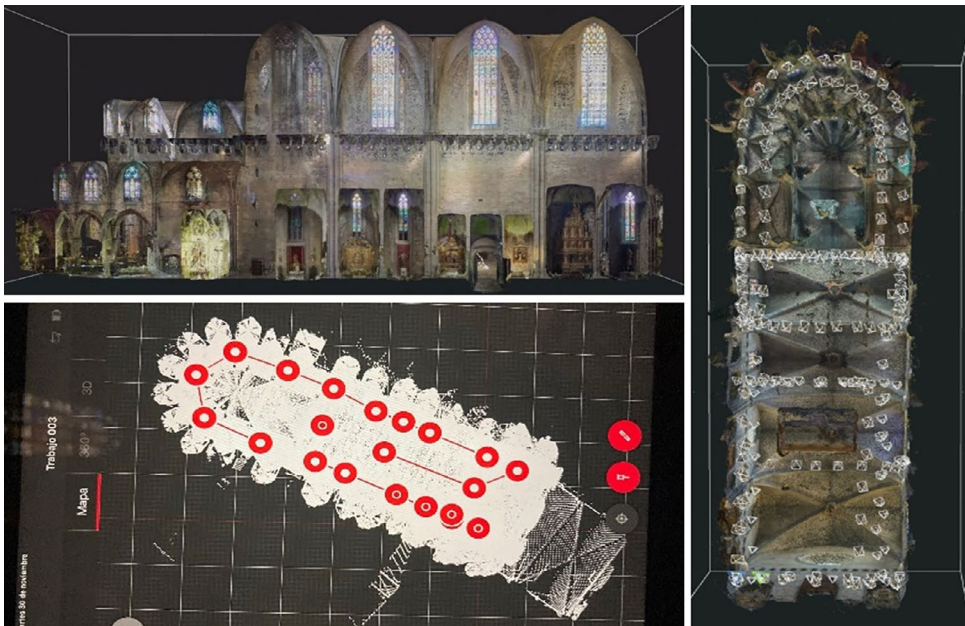


Fig. 8 -Lidar laser capture diagrams, photos and resulting model. (Own elaboration)

to the resulting virtual object, since it minimizes reflections and errors in the calculation of the final geometry as shown below (Figure 7).

For the calculation of the point clouds corresponding to each figure, it was necessary to align the sequences of superimposed images. To this end, a three-dimensional mesh was created, including the coloring and texturing of the environment. The images were processed and pre-adjusted using Lightroom 6. For the construction of the point clouds, Reality Capture 1.1 was used.

2. Survey of the central nave of the Cathedral using a mixed technique of photogrammetry and laser scanner.

It is carried out in several sessions and combines the techniques of photogrammetry and laser scanning, to achieve an effective model of 409.2 million polygons. A Leica RTC360 laser is used with a measurement rate of up to 2 million points per second and an advanced HDR imaging system. Processing is performed with Leica Cyclone software.

The laser scanner performs a 360° depth scan and links one capture to the next, summing the different locations using the Cyclone software and obtaining a global E57 file that includes all 23 captures, a resulting 17.8 Gb file that is incorporated into the Reality Capture software, along with the 410 RAW photos taken on the ship at ground level and the surrounding terrace. The program uses the global alignment of the sequences taken and integrates the 180° photo sequences into the generated model (Figure 8).

Once the point cloud has been resolved, the textured images have been extracted with a minimum resolution of 8K and converted to a polygonal model to be used in different formats and 3D modeling programs.

The resulting model, of 409.2M polygons, is reduced to 40M to be used in different modeling software, and a reduced model of 8M is also made for viewing in presentation software (point 3 of the methodology)

3. Modeling and integration of the preserved elements in a single optimized mesh.

For the modeling of the ensemble and integration of all the decontextualized elements captured, we started from an initial configuration proposed by the authors according to the reading of various hypotheses, and the meticulous study of the photographs from the beginning of the century. Among them, a series of discrepancies were detected, such as the number and arrangement of stalls in the lower choir (two more in the lateral rows and two more in the front row next to the episcopal chair) or the existence of double steps in the area near the altar. The modeling of the remains of the missing choir loft and organ was also based on images and textures from photographs of the period. The free program Blender in its version 2.92 was used for this purpose. For a better understanding of the reconstruction, we show below images of the modeled elements, represented in white, and those from the photogrammetric survey, represented in color (Figure 9). The set is finally assembled to obtain a single mesh.

The resulting model yields a resolution close to 8.4 million polygons with a total size of 3Gb. For the construction of the final virtual model, and in order to make it operational, the mesh has been fragmented into different areas and the model has been simplified by reducing the number of polygons of each of the incorporated elements, but maintaining the original mapping, which has allowed keeping the resolution of the texture image intact, as shown below (Figure 10).

Finally, as mentioned above, the resulting model, scaled and reduced, is simplified to a single mesh and texture. This allows its geometric integration with the rest of the models and with the environment, and will also allow the extraction of data and measurements in a more accurate and efficient way. It will also facilitate the programming of the application by reducing the interaction to three elements: The model of the missing Gothic choir: which incorporates the decontextualized photogrammetric elements; the current model of the choir area, which includes pews and other ele-

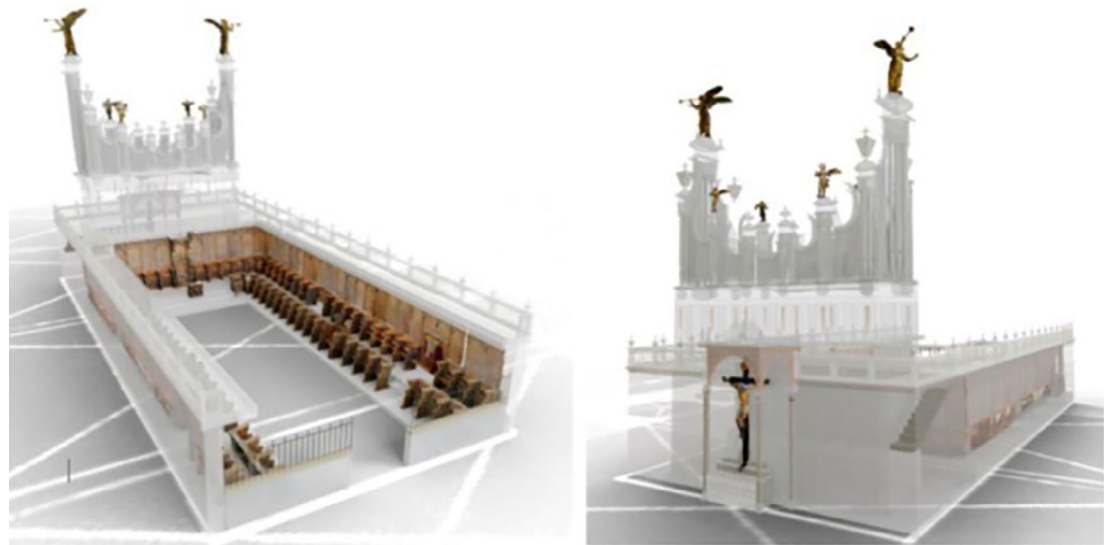


Fig. 9 -In white 3D model of the choir generated from historical photographs. In color decontextualized elements incorporated to the model. (Own elaboration)

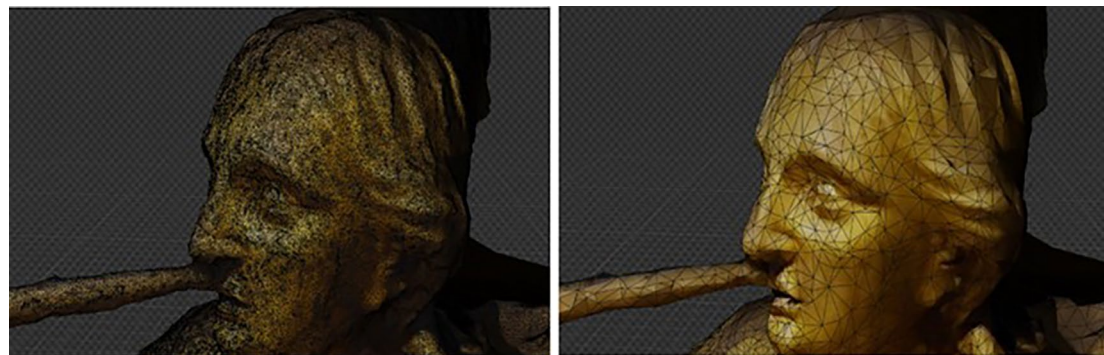


Fig. 10 -Example of reduction of the number of polygons of a model generated by photogrammetry and meshing, maintaining the original texture. (Own elaboration)



Fig. 11 -The empty Cathedral precinct, current situation, and model generated from the photogrammetric captures. (Own elaboration)



Fig. 12 -View of the virtual reconstruction inside the three-dimensional nave. (Own elaboration)

ments that should disappear when visualizing the original state of the cathedral; model of the cathedral that is part of the original context

4. Programming of the immersive application and visualization of the set.

For the programming of the application, the Unreal Engine program in version 4.27 has been used, which allows the creation of Virtual Reality scenes and their export as an executable file for web viewing via laptop, mobile device, or Virtual Reality glasses from anywhere.

Once the three simplified models generated previously (Figure 11) have been imported, elements observed in the graphic images are added: carpets, lecterns, small lamps, and the large lectern recovered with the panels and the virgin from the cathedral's storeroom and a complete model of the cathedral is obtained where the current state and the original are superimposed. Lighting and sound elements (typical of the period) are also added in order to improve the user experience.

The default configuration is in the first person and it has been necessary to customize certain functionalities by programming from the configuration of visual scripts (blueprints). This system allows making interactive applications in a more visual and simple way while offering the necessary flexibility for future extensions.

Among the functionalities developed is the creation of a situation map that indicates the position and orientation of the viewer, as well as icons and options that allow comparing the current state with the original one. Prior to an initial screen with instructions on the use of the application, the user navigates through different points of view in an immersive way according to the route initially proposed. At the same time, the user is able to decide the visualization mode, current or original.

5. The result can be downloaded at:

<https://pamstv.itch.io/choir-of-girona-cathedral>.

RESULTS

In this work we have shown the multidimensional process of virtual reconstruction of a heritage complex currently dismantled and partially preserved in the same cathedral or in different areas of the Catalan geography. The resulting virtual model, extracted from photogrammetric techniques, has been integrated into its original environment generated from photogrammetry and laser Lidar, to subsequently develop an application that allows its visualization in a ubiquitous and interactive way in an immersive environment mixing real and virtual content.

This "Recontextualization" technique has proven to be effective for the spatial and architectural understanding of the construction of this important religious enclosure, allowing the visitor to contemplate a huge altered space, with a configuration and current uses very different from those that were carried out when the choir was in operation.

The result of this methodology represents a new strategy in the dissemination of heritage that advances in the study and reconstruction of decontextualized elements. The proposed methodology is replicable to countless examples of architectural heritage currently dismantled or disappeared, offering the viewer the opportunity to visualize in a ubiquitous and immersive way the original state of the element and switch simultaneously in the same scene to the current state. The strategy ultimately promotes the dissemination and conservation of elements that otherwise could not be seen.

CONCLUSIONS

The decontextualization of artistic elements can occur when a work is removed from its original location, whether for historical, political, or other reasons. In many cases, this can make it difficult to understand and appreciate the value of the work in its original context.

Combining original elements extracted from different locations with virtual 3D models remodeled from different hypotheses is an affordable and effective option to create an immersive experience that allows the viewer to understand and admire the value of the choral ensemble in its original context.

The technique is replicable in a wide variety of settings to reconstruct decontextualized heritage elements and offer a new perspective in their dissemination and understanding.

In relation to the photogrammetric survey of decontextualized elements, the use of long sequences of overlapping photos has proven to be very useful when adjusting control points with different alignments. Manual retouching of photographs taken in dark and bright areas is also recommended. The complexity of the sculpted reliefs in most cases requires that photographs be taken in a 180° range of each piece (mercordia, armrests and back panels, friezes, sculptures), so that the individual reliefs are perfectly reflected in the overall point cloud of the Gothic ensemble.

This multi-sequence processing is more efficient if the photography is done by combining different distances, heights, and degrees of detail for each piece and the processing software identifies the 180° sequences to superimpose them on a global path. This reduces the model error to a few millimeters, although the resulting point cloud is very dense and the size of the 3D model is not very operative, so it needs to be simplified while maintaining the original mapping and texture to minimize the loss of quality in the scene.

INNOVATIVE AND ORIGINAL ASPECTS

The three-dimensional ensemble obtained is treated as a real environment so that the user can observe it from all points of view and allows movement through the created scenario as an effective contextualization to appreciate the choral element in its measure, as it was before the dispersion. Additional elements of sensory realism are also added: cathedral sounds with an organ rehearsal, suspended particles that are revealed by the exterior light beams, and punctual information about some of the recovered elements to learn more about the choir and where the dispersed pieces are.

The recovery of dispersed or destroyed elements and the location in the nave of the cathedral is of great value for the appreciation that the temple has had in recent centuries, from the creation of the choir until its destruction in the mid-twentieth century. The historical accuracy and great detail are relevant for future similar works of REcontextualization in architectural or heritage representations that require it

REFERENCES

- 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. <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. <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. <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. <https://doi.org/10.3989/aem.2004.v34.i1.190>
- Nadal Ferreras, Joaquim; Domech Casadevall, G. (2015). *Patrimoni i Guerra. Girona 1936-1940* (A. de Girona (ed.)).
- Nadal i Ferreras, 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*. <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 Navascués 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*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-90179-0_43
- Puigvert i Solà, 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. <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*. <https://upcommons.upc.edu/urlFiles?id=Drac=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. https://doi.org/10.14195/2182-844X_EX2_3

TEXT IN SPANISH

AIMS OF THE ARTICLE

Los avances en levantamientos fotogramétricos y en la visualización inmersiva mediante Realidad Virtual (RV) han supuesto una revolución en todos los ámbitos de la representación arquitectónica. El patrimonio arquitectónico no ha escapado a ella, pues mediante estas técnicas es posible la recuperación de elementos patrimoniales actualmente desaparecidos o descontextualizados que de otra manera no es posible contemplar. El presente artículo desarrolla un caso paradigmático en este campo como es la recuperación del coro gótico de la Catedral de Girona, completamente desmantelado y parcialmente conservado en distintas ubicaciones de la geografía española. Partiendo de trabajos previos de recontextualización de entornos parecidos realizados por los autores (Sánchez Riera et al., 2022a), este escrito describe la construcción de un modelo inmersivo virtual e hiperrealista del conjunto desaparecido y de su contexto original. Se muestra la integración geométrica y lumínica de ambos modelos en un aplicativo de desarrollo propio y se ejemplifican distintas escenas construidas mediante su uso. La propuesta permite la visualización interactiva del conjunto conmutando entre su estado actual y su estado original. La posibilidad de consultar información adicional de ciertos elementos singulares, ya desaparecidos o descontextualizados, en la propia ubicación para la que fueron originalmente concebidos, pretende fomentar su estudio y difusión. Igualmente permitirá establecer hipótesis sobre su diseño, uso y configuración original, promoviendo en último término la conservación del patrimonio arquitectónico que de otra forma permanecería olvidado.

BACKGROUND

Las sillerías góticas del coro de las Catedrales en la península ibérica se situaban generalmente en la nave central enfrente del altar mayor en el denominado 'modo español', 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). La sillería original, 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. 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 2).

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 3).

La situación de dispersión 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 tallados que componían el acceso entre el coro alto y el bajo, se encuentra en una capilla de la Catedral. Los paneles góticos que adornaban todo el muro circundante se encuentran parcialmente reunidos en un museo privado, la Fundació Mauri, en la población de La Garriga, Barcelona. Los paneles que formaban el fascistol central de la sillería y la virgen que la coronaba se encuentran almacenados en los almacenes de la Catedral.

En este contexto, similar al de muchas de las catedrales españolas, se plantea la necesidad de recontextualización de todos los elementos desmantelados todavía existentes, para su integración geométrica y lumínica en un modelo tridimensional formado por el levantamiento fotogramétrico de estos elementos conservados y del resto del coro desaparecido, construido a partir de fotografías históricas. El modelo resultante,

que formará la totalidad del coro gótico, se integrará en su contexto original, la nave central de la catedral, construido virtualmente a partir de escáner laser y fotogrametría.

Estrategias similares han sido planteadas para la recuperación de elementos patrimoniales parecidos (Pàmies et al., 2021; Sánchez Riera et al., 2022b), en ellas se emplean las mismas técnicas fotogramétricas descritas en este artículo, pero o bien no se plantea la integración de estos elementos en su contexto original, o esta integración se plantea a partir de fotografías equirectangulares, que permiten una interacción limitada a partir de la construcción de escena en determinados puntos de un recorrido virtual preestablecido. La propuesta aquí desarrollada plantea una nueva estrategia basada en la interacción total del modelo construido, desde cualquier punto de vista y cualquier lugar de libre elección por parte del espectador.

METHODOLOGY

La reconstrucción virtual del conjunto coral consta de 4 fases: (1) Levantamiento fotogramétrico de los elementos conservados actualmente; (2) Levantamiento de la nave de la Catedral mediante técnica mixta de fotogrametría y láser Lidar; (3) Modelado e integración de los elementos conservados en una sola malla optimizada. (4) Programación del aplicativo inmersivo y visualización del conjunto. Todos ellos resumidos a partir del siguiente esquema metodológico (figura 4).

1. Levantamiento fotogramétrico de los elementos conservados actualmente

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...

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. Para cada pieza, además, se han realizado distintas secuencias, combinando diferentes distancias y grados de detalle que han sido superpuestas en una secuencia global, de forma que los errores del modelo reducen 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 (figura 6)

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 de polígonos variable, y que se resumen en la siguiente tabla.

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 comentado anteriormente, 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 7).

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.

2. Levantamiento de la nave central de la Catedral mediante técnica mixta de fotogrametría y láser Lidar

Se realiza en varias sesiones y uniendo las técnicas de fotogrametría y láser lidar, para conseguir un modelo efectivo de 409.2 millones de polígonos. Se emplea un láser Leica RTC360 con una tasa de medición de hasta 2 millones de puntos por segundo y sistema de imágenes HDR avanzado. El procesado se realiza con software Cyclone de Leica.

El láser Lidar realiza un escaneado en profundidad de 360° y enlaza una captura con la siguiente, sumando los distintos emplazamientos mediante el software Cyclone y obteniendo un archivo global de tipo E57 que incluye todas las 23 capturas, un archivo resultante de 17.8 Gb que se incorpora al software Reality Capture, juntamente con las 410 fotos RAW tomadas en la nave a nivel del suelo y de la terraza circundante. El programa utiliza la alineación global de las secuencias tomadas e integra las secuencias fotográficas de 180° en el modelo generado.

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. El modelo resultante, de 409.2M de polígonos, se reduce a 40M para poder manejarse en los diversos softwares de modelado, y también se realiza un modelo reducido de 8M para visionado en softwares de presentaciones. (punto 3 de la metodología)

3. Modelado e integración de los elementos conservados en una sola malla optimizada

Para el modelado del conjunto e integración de todos los elementos descontextualizados 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. 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 9). El conjunto es finalmente ensamblado para obtener una sola malla.

El modelo resultante arroja una resolución cercana a los 8,4 millones de polígonos con un tamaño total de 3Gb. Para la construcción del modelo virtual definitivo, y con el objetivo de que resultara operativo, se ha fragmentado la malla en distintas zonas y simplificando el modelo a partir de la reducción del número de polígonos de cada uno de los elementos incorporados, 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 10).

Finalmente, tal como se ha comentado, el modelo resultante, escalado y reducido es simplificado a una sola malla y textura. 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. De igual forma facilitará la programación del aplicativo al reducir la interacción a tres elementos: Modelo del coro gótico desaparecido: que incorpora los elementos fotogramétricos descontextualizados; modelo actual de la zona del coro, que incluye bancos y resto de elementos que deben desaparecer al visualizar el estado original de la

catedral; modelo de la catedral que forma parte del contexto original.

4. Programación de la aplicación inmersiva y visualización del decorado.

Para la programación de la aplicación se ha utilizado el programa Unreal Engine en su versión 4.27, que permite la creación de escenas de Realidad Virtual y su exportación como archivo ejecutable para su visualización web mediante portátil, dispositivo móvil o gafas de Realidad Virtual desde cualquier lugar.

Una vez importados los tres modelos simplificados generados anteriormente (Figura 11), se añaden los elementos que se observan en las imágenes gráficas: alfombras, atriles, pequeñas lámparas y el gran atril recuperado con los paneles y la virgen del almacén de la catedral y un modelo completo. de la catedral se obtiene donde se superponen el estado actual y el original. También se añaden elementos de iluminación y sonido (típicos de la época) para mejorar la experiencia del usuario.

La configuración por defecto es en primera persona y ha sido necesario personalizar ciertas funcionalidades mediante la programación a partir de la configuración de guiones visuales (blueprints). Este sistema permite realizar aplicaciones interactivas de una forma más visual y sencilla a la vez que ofrece la flexibilidad necesaria para futuras ampliaciones.

Entre las funcionalidades desarrolladas se encuentra la creación de un mapa de situación que indica la posición y orientación del espectador, así como iconos y opciones que permiten comparar el estado actual con el original. Previo a una pantalla inicial con instrucciones de uso de la aplicación, el usuario navega por diferentes puntos de vista de forma inmersiva según el recorrido propuesto inicialmente. Al mismo tiempo, el usuario puede decidir el modo de visualización, actual u original.

RESULTADOS

En este trabajo se ha mostrado el proceso multidimensional de reconstrucción virtual 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 fotogrametría y láser Lidar, 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 los que se llevaban a cabo cuando el coro estaba en funcionamiento.

El resultado de esta metodología supone una nueva estrategia en la difusión del patrimonio que avanza en el estudio y reconstrucción de elementos descontextualizados. La metodología planteada es replicable a innumerables ejemplos del patrimonio arquitectónico actualmente desmantelado o desaparecido, ofreciendo al espectador la oportunidad de visualizar de forma ubicua e inmersiva el estado original del elemento y conmutar simultáneamente en una misma escena al estado actual. La estrategia fomenta, en último término, la difusión y conservación de elementos que de otra forma no podrían contemplarse.

CONCLUSIONES

La descontextualización de elementos artísticos puede ocurrir cuando una obra es sacada de su lugar original, ya sea por razones históricas, políticas o de otro tipo. En muchos casos, esto puede dificultar la comprensión y apreciación del valor de la obra en su contexto original.

La combinación entre elementos originales extraídos de distintos lugares con modelos 3D virtuales remodelados a partir de distintas hipótesis para ser una opción asequible y efectiva para crear una experiencia inmersiva que permita al espectador comprender y admirar el valor del conjunto coral en su contexto original.

La técnica es replicable en una amplia variedad de ámbitos para reconstruir elementos patrimoniales descontextualizados y ofrecer una nueva perspectiva en su difusión y comprensión.

En relación con el levantamiento fotogramétrico de los elementos descontextualizados, 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 los 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, alturas 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.

ASPECTOS INNOVADORES Y ORIGINALES

El conjunto tridimensional obtenido se trata como un entorno real para que el usuario pueda observarlo desde todos los puntos de vista y permite el movimiento por el escenario creado como una contextualización efectiva para apreciar el elemento coral en su medida, tal y como estaba antes de la dispersión. Asimismo, se añaden elementos adicionales de realismo sensorial: sonidos de catedral con órgano ensayando, partículas en suspensión que se revelan con los haces de luz exterior e informaciones puntuales de algunos de los elementos recuperados para conocer más sobre el coro y dónde están las piezas dispersas.

La recuperación de elementos dispersos o destruidos y el emplazamiento en la nave de la catedral resulta de gran valor para la apreciación que el templo ha tenido en los últimos siglos, desde la creación del coro hasta su destrucción a mediados del siglo XX. La precisión histórica y el gran detalle son relevantes para futuros trabajos similares de REcontextualización en representaciones arquitectónicas o de patrimonio que así lo requieran.