UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

# HBIM y sensórica para la mejora de la gestión de visitantes y conservación preventiva del patrimonio arquitectónico construido. Caso de estudio: El museo de la Catedral de Valencia.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Conservación del Patrimonio Arquitectónico

AUTOR/A: Broquetas Rizzi, Rodrigo

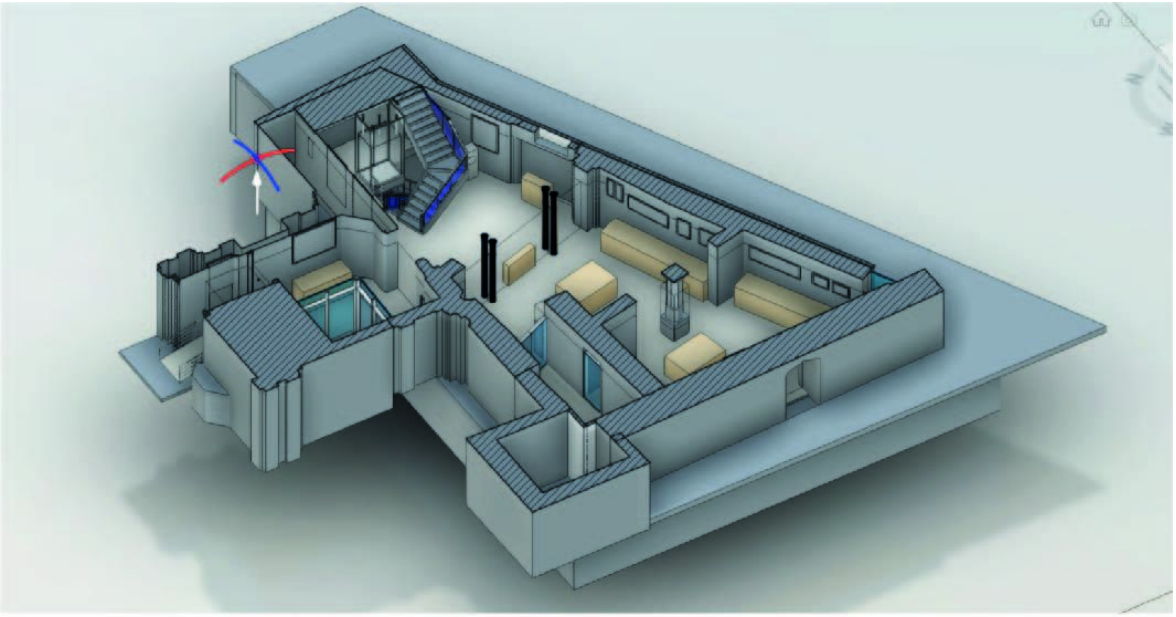
Tutor/a: Viñals Blasco, Mª José

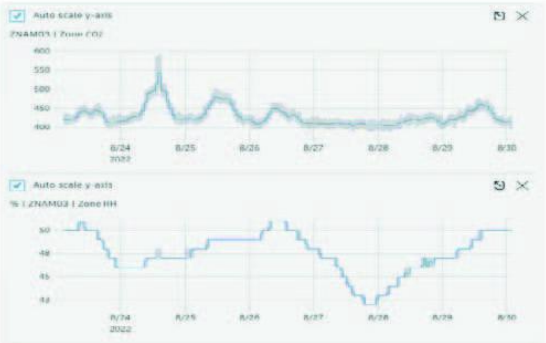
Cotutor/a externo: SALVADOR GARCIA, ELENA

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

# HBIM y sensórica para la mejora de la gestión de visitantes y conservación preventiva del patrimonio arquitectónico construido.

Caso de estudio: El Museo de la Catedral de València.






**Rodrigo Broquetas Rizzi**

Autor: Rodrigo Ignacio Broquetas Rizzi

Tutora: María José Viñals Blasco

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Universitat Politècnica de València

Curso 2022-2023

Máster Universitario en Conservación del Patrimonio Arquitectónico.

(ES)

Título: HBIM y sensórica para la mejora de la gestión de visitantes y conservación preventiva del patrimonio arquitectónico construido. Caso de estudio: El Museo de la Catedral de València.

Palabras Clave: HBIM, Sensórica, Museo de la Catedral de València, Conservación preventiva, Gestión de visitantes.

Resumen:

Este Trabajo de Fin de Máster está enmarcado dentro del proyecto "Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino (PID2020-119088RB-I00). Proyectos de I+D+i, en el marco de los Programas Estatales de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+i y de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad, del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 (Ministerio de Ciencia e Innovación, Agencia Estatal de Investigación)", que busca facilitar la planificación turística mediante la interoperabilidad entre SIG (Sistemas de Información Geográfica) y HBIM (Historic Building Information Modelling).

En particular se propone explorar las ventajas del uso de herramientas HBIM integradas con sensores y plataformas compartidas que posibiliten planificar y tomar decisiones de gestión y conservación preventiva. El fin es repercutir positivamente en la preservación de un bien patrimonial y a su vez mejorar la experiencia del visitante.

En los bienes patrimoniales intervienen muchos agentes a lo largo de todo su ciclo de vida: arqueólogos, historiadores, arquitectos, gestores culturales, etc. La información sobre dichos bienes surge de distintas disciplinas, de diversas fuentes y con distintos formatos y soportes. La documentación no es estática o inamovible, y las bases de datos necesitan de una continua revisión y ampliación de información. Para poder preservar el bien es necesario que los agentes se encuentren coordinados y que tengan a disposición la información necesaria para tomar las mejores decisiones posibles para su conservación y gestión. Frente a este escenario, se considera que la metodología BIM puede dar una gran respuesta para la unificación de los diferentes tipos de información. Queda mucha investigación por realizar en el ámbito de la conservación y gestión de bienes arquitectónicos sobre esta metodología, por lo que se propone como eje central de este Trabajo de Fin de Máster.

El caso de estudio que guía esta investigación es el Museo de la Catedral de València. Conviven en ese ámbito de la Catedral construcciones de muy diversas épocas. Tiene la doble condición de ser un bien inmueble patrimonial, y de contener piezas artísticas de relevancia que deben conservarse para las generaciones futuras.

(VAL)

Títol: HBIM i sensórica per a la millora de la gestió de visitants i conservació preventiva del patrimoni arquitectònic construït. Cas d'estudi: El Museu de la Catedral de València.

Paraules Clau: HBIM, Sensórica, Museu de la Catedral de València, Conservació preventiva, Gestió de visitants.

Resum: Aquest treball de Fi de Màster està emmarcat dins del projecte "Anàlisi i desenvolupament de la integració HBIM a SIG per a la creació d'un protocol de planificació turística del patrimoni cultural d'una destinació (PID2020-119088RB-I00). Projectes de R+D+i, en el marc dels Programes Estatals de Generació de Coneixement i Enfortiment Científic i Tecnològic del Sistema d'R+D+i i d'R+D+i Orientada als Reptes de la Societat, del Pla Estatal de Investigació Científica i Tècnica i d'Innovació 2017-2020 (Ministeri de Ciència i Innovació, Agència Estatal de Recerca)", que busca facilitar la planificació turística mitjançant la interoperabilitat entre SIG (Sistemes d'Informació Geogràfica) i HBIM (Historic Building Information Modelling).

En particular es proposa explorar els avantatges de l'ús d'eines HBIM integrades amb sensors i plataformes compartides que possibiliten planificar i prendre decisions de gestió i conservació preventiva. La fi és repercutir positivament en la preservació d'un bé patrimonial i al seu torn millorar l'experiència del visitant.

En els béns patrimonials intervenen molts agents al llarg de tot el seu cicle de vida: arqueòlegs, historiadors, arquitectes, gestors culturals, etc. La informació sobre aquests béns sorgeix de diferents disciplines, de diverses fonts i amb diferents formats i suports. La documentació no és estàtica o inamovible, i les bases de dades necessiten d'una contínua revisió i ampliació d'informació. Per a poder preservar el bé és necessari que els agents es troben coordinats i que tinguen a disposició la informació necessària per a prendre les millors decisions possibles per a la seua conservació i gestió. Enfront d'aquest escenari, es considera que la metodologia BIM pot donar una gran resposta per a la

unificació dels diferents tipus d'informació. Queda molta investigació per realitzar en l'àmbit de la conservació i gestió de béns arquitectònics sobre aquesta metodologia, per la qual cosa es proposa com a eix central d'aquest Treball de Fi de Màster.

El cas d'estudi que guia aquesta investigació és el museu de la Catedral de València. Conviuen en aqueix àmbit de la Catedral construccions de molt diverses èpoques. Té la doble condició de ser un bé immoble patrimonial, i de contindre peces artístiques de rellevància que s'han de conservar per a les generacions futures.

(EN)

Title: HBIM and sensorics for the improvement of visitor management and preventive conservation of built architectural heritage. Case study: The València Cathedral Museum.

Keywords: HBIM, Sensorics, València Cathedral Museum, Preventive conservation, Visitor management.

Abstract:

This Master's Thesis is framed within the project "Analysis and development of HBIM integration in GIS for the creation of a tourism planning protocol for the cultural heritage of a destination (PID2020-119088RB-I00). R+D+i projects, within the framework of the State Programs for Knowledge Generation and Scientific and Technological Strengthening of the R+D+i System and R+D+i Oriented to the Challenges of Society, of the State Plan for Scientific and Technical Research and Innovation 2017-2020 (Ministry of Science and Innovation, State Research Agency)", which seeks to facilitate tourism planning through the interoperability between GIS (Geographic Information Systems) and HBIM (Historic Building Information Modelling).

In particular, it is proposed to explore the advantages of using HBIM tools integrated with sensors and shared platforms that make it possible to plan and make management and preventive conservation decisions. The aim is to have a positive impact on the preservation of a heritage asset and at the same time improve the visitor's experience.

Many agents are involved in heritage assets throughout their life cycle: archaeologists, historians, architects, cultural managers, etc. Information on these assets comes from different disciplines, from different sources and in different formats and media. The documentation is not static or immovable, and the databases need continuous revision and expansion of information. In order to preserve the property, it is

necessary for the agents to be coordinated and to have the necessary information available to make the best possible decisions for its conservation and management. Faced with this scenario, it is considered that the BIM methodology can provide a great answer for the unification of the different types of information. There is still much research to be done in the field of conservation and management of architectural assets on this methodology, so it is proposed as the focus of this Master's thesis.

The case study that guides this research is the museum of the Cathedral of Valencia. In this area of the cathedral coexist constructions from very different periods. It has the double condition of being a heritage property and of containing relevant artistic pieces that must be preserved for future generations.

Agradecimientos:

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo. En primer lugar, agradezco a mi esposa, Sofía, por su apoyo incondicional desde el inicio de este proceso.

Un agradecimiento especial al ingeniero Juan Escobar, que además de ser un gran amigo, me brindó una ayuda invalorable en la programación y armado de los circuitos que permitieron poner en marcha los sensores contadores de personas.

También quiero agradecer a mis amigos Pepe Hernández del estudio VAS, por su colaboración en la impresión de las cajas protectoras de los sensores, a Rubén Dávila por sus consejos y asistencia en momentos clave, y a Lucas Davy por el asesoramiento informático para poder llevar a cabo la vinculación de los datos obtenidos con la plataforma de Autodesk Tandem.

Además quisiera sumar un especial agradecimiento a la Catedral de València, a Carlos Gener y José Verdeguer, a los cuidadores del Museo de la Catedral y los funcionarios del control de ingreso, que siempre estuvieron a disposición para lo que necesitara.

Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi profundo agradecimiento a María José Viñals, mi tutora, por su guía, apoyo y orientación a lo largo de este proyecto. Su conocimiento y dedicación fueron fundamentales para su desarrollo exitoso.

A cada una de estas personas, mi gratitud sincera. Sin su contribución, este trabajo no hubiera sido posible.

# Índice

**1. Motivaciones personales..... 12**
**2. Objetivos.....14**
2.1. Objetivos generales..... 14
2.2. Objetivos específicos.....14
**3. Introducción.....16**
**4. Marco teórico.....17**
4.1. Historia de la Catedral de València y el espacio que ocupa el Museo..... 17
4.2. Historia del Museo Catedralicio Diocesano.....29
4.3. Configuración actual del Museo..... 31
4.4. Características de la colección artística del Museo.....34
4.5. Condiciones ambientales óptimas para la conservación de obras de arte en museos... 40
4.6. Capacidad de Carga Recreativa.....42
4.7. Métodos utilizados para contabilizar aforo de un espacio..... 44
4.8. Definiciones de conceptos: BIM, HBIM y Gemelo digital..... 48
**5. Metodología de la investigación.....49**
5.1. Elaboración de un modelo HBIM a partir de una nube de puntos.....49
5.2. Determinación del tiempo de duración media de visita.....54
5.3. Datos de visitas diarias a la Catedral de València.....55
5.4. Determinación del flujo de visitantes en el Museo..... 55
5.4.1. Construcción del circuito..... 55
5.4.2. Programación del sensor.....59
5.4.3. Construcción de la caja e instalación de los dispositivos..... 59
5.5. Datos de Humedad Relativa y Temperatura.....65
**6. Resultados y Discusión.....68**
6.1. Resultados.....68
6.1.1. Modelo HBIM..... 68
6.1.2. Resultado duración media de la visita.....73
6.1.3. Resultado Capacidad de Carga Recreativa (CCR).....74
6.1.4. Resultado Visitas diarias a la Catedral.....80
6.1.5. Resultado flujo de visitantes..... 81
6.1.6. Resultado Humedad Relativa y Temperatura interior..... 86
6.2. Evaluación de resultados y Discusión.....86

6.2.1. Comparación del número de visitantes a la Catedral con el número de visitantes al Museo.....86
6.2.2. Variación de los niveles de HR y Temperatura en relación al número de visitantes.....88
6.2.3. Diagnóstico de la calidad del flujo de visitantes y comparación con su CCR...88
**7. Conclusiones.....89**
**8. Posibles líneas futuras de investigación.....91**
**9. Bibliografía.....92**
**10. Anexos.....96**
**11. Listado de acrónimos.....100**
**12. Índice de figuras.....101**

## 1. Motivaciones personales

Las motivaciones personales que me impulsan a realizar este Trabajo de Fin de Máster en Conservación del Patrimonio Arquitectónico se centran en mi interés por preservar y proteger nuestro valioso legado cultural y arquitectónico.

Reconozco la necesidad de aprovechar las herramientas tecnológicas disponibles, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el Modelado de Información de Edificios Históricos (HBIM), para lograr una gestión más eficiente y efectiva de los bienes patrimoniales. Creo firmemente que la interoperabilidad entre estas herramientas puede brindar una valiosa contribución a la planificación turística y a la conservación preventiva.

Además, me motiva la oportunidad de explorar las ventajas y beneficios derivados de la integración de sensores y plataformas compartidas en el ámbito del HBIM. Entender cómo estas tecnologías pueden mejorar la toma de decisiones en la gestión y conservación de los bienes patrimoniales es un objetivo que considero fundamental. Al aprovechar la información generada por estos sistemas, podremos optimizar las estrategias de preservación y brindar una experiencia enriquecedora a los visitantes.

Mejorar la colaboración entre diferentes agentes involucrados en la conservación de bienes patrimoniales también es una motivación significativa para mí. Reconozco la complejidad y la diversidad de disciplinas que intervienen en la conservación, como arqueólogos, historiadores, arquitectos y gestores culturales entre otros. Mi objetivo es promover la coordinación y la comunicación eficiente entre estos actores para garantizar la conservación adecuada de los bienes arquitectónicos. Considero que la metodología BIM ofrece una excelente oportunidad para unificar la información proveniente de diversas fuentes y disciplinas, lo cual facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias efectivas de conservación.

Finalmente, el caso de estudio del Museo de la Catedral de València me inspira a profundizar en esta investigación. La preservación de un entorno que alberga

construcciones de distintas épocas y piezas artísticas de relevancia es un desafío muy interesante. Deseo contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles que aseguren la protección a largo plazo de este patrimonio invaluable.

En resumen, mi motivación personal radica en mi compromiso con la conservación del patrimonio arquitectónico y cultural, mi interés por la integración de tecnologías avanzadas como la integración del HBIM con sensores, mi deseo de mejorar la experiencia del visitante y mi voluntad de colaborar con diferentes agentes para lograr una gestión más eficiente y efectiva. A través de este Trabajo de Fin de Máster, espero contribuir al avance del conocimiento en este campo y al legado duradero de nuestro patrimonio arquitectónico y cultural.

# 2. Objetivos

## 2.1. Objetivos generales

La utilización de los gemelos digitales permiten incorporar diversas funciones que pueden ser útiles en los procesos de gestión y mantenimiento, como la visualización de los parámetros de confort monitorizados, la actualización de los modelos con datos reales de características térmicas o la simulación de posibles actuaciones en el modelo (Lucas-Vaquera Durango *et al.* 2022).

Este trabajo pretende explorar las posibilidades que brinda la implementación de la tecnología BIM complementada con la incorporación de sensores en el espacio físico para poder mejorar la gestión de un bien patrimonial.

## 2.2. Objetivos específicos

a. Generar un modelo HBIM del Museo de la Catedral de València con el fin de que pueda ser incorporado al modelo de la Catedral en su conjunto, que está siendo elaborado por el equipo de investigación "Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino" de la UPV.

b. Establecer el número máximo de visitantes en simultáneo teniendo en consideración la capacidad de carga recreativa (CCR), y las condiciones ambientales óptimas para la conservación de la colección de piezas expuestas en el Museo de la Catedral de València.

c. Generar un prototipo de sensor de cuantificación de número de visitantes aplicable a la gestión de un bien patrimonial, que sea capaz de generar datos medibles y cuyos resultados permitan mejorar la gestión de un edificio patrimonial.

d. Vincular diferentes tipos de sensores al modelo HBIM previamente realizado.

e. Utilizar plataformas como Autodesk Tandem y Google Sheets para visualizar y compartir los datos obtenidos.

# 3. Introducción

La dispersión de la información en los bienes arquitectónicos es un problema común en la gestión del patrimonio. Los diferentes actores involucrados como gestores culturales, arquitectos, arqueólogos, y restauradores, suelen trabajar de manera separada, lo que genera datos dispersos y duplicación de información (Antonopoulou, 2017).

Ante esta problemática, el uso de Building Information Modelling (BIM) y plataformas en línea puede plantearse como una posible respuesta a esa problemática. El BIM, un proceso colaborativo para la producción y gestión de información estructurada, ha sido ampliamente utilizado en los sectores de arquitectura, ingeniería y construcción durante los últimos 25 años, principalmente en proyectos de nueva construcción. Sin embargo, también se pueden aplicar sus ventajas al sector del patrimonio.

En este trabajo, se explorará el uso de Autodesk Tandem versión Beta como una plataforma de gestión de información. Autodesk Tandem es un software que permite la gestión de un gemelo digital diseñado para brindar edificios más inteligentes. Conectando los datos del ciclo de vida del edificio en una réplica digital dinámica, ofrece datos procesables al alcance de los técnicos y gestores.

Esta plataforma se seleccionó debido a su alineación con las necesidades del proyecto, ya que permite tener los datos en línea y actualizaciones automáticas. Trabaja en entornos BIM y es compatible con Autodesk Revit. Además, permite compartir el vínculo con diferentes usuarios, lo que facilita la colaboración entre los diversos actores involucrados en la gestión del bien arquitectónico.

# 4. Marco teórico

El objetivo de este capítulo es desarrollar un marco teórico basado en la revisión de la bibliografía. Se encuentra dividido en dos partes. Una primera parte basada en una revisión bibliográfica acerca de la historia de la Catedral haciendo hincapié en el espacio físico que alberga el Museo y la historia del Museo propiamente dicha. En la segunda parte se desarrollan conceptos relacionados a la gestión y también relacionados a las nuevas tecnologías aplicadas en esta investigación.

Se recopilarán ideas, conceptos y postulados relevantes de diversas fuentes académicas y científicas. Se recurrió a artículos, tesis, y bibliografía específica. En resumen, el objetivo es proporcionar un marco teórico para abordar la problemática de investigación en el TFM.

## 4.1. Historia de la Catedral de València y el espacio que ocupa el Museo

La Catedral de València está declarada Bien de Interés Cultural (BIC) con carácter de Monumento Artístico Nacional según el Decreto ley del 3 de junio de 1931 (Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes del Gobierno provisional de la República de España, 1931). Es propiedad del Arzobispado de València. El entorno en el que está inserta también es considerado como BIC por la Generalitat Valènciana (1993) y está regulado por el Plan Especial de Protección y Catálogo de Protecciones de Ciutat Vella (Ayuntamiento de València, 2020).

La reconquista de la ciudad de València por el rey Jaume I en septiembre-octubre de 1238 supuso la andadura más reciente del espacio que hoy ocupa la Catedral. Poco después de la conquista se procede a purificar el edificio que era la mezquita mayor de la

ciudad árabe, consagrándola como templo católico bajo la advocación de Santa María en la Asunción (Palao Gil, 1993).

Habiendo transcurrido diez años de la purificación de la mezquita, Jaime I publicó un *Statutum Regium* prohibiendo que se edificasen alrededor de ella pórticos, arcos, portales ó cualquier edificio cubierto, y ordenando que las casas adosadas al templo, una vez derribadas, no pudieran reedificarse (Sanchis Sivera, 1909).

Desde el año 1238 hasta el año 1262, el edificio de la mezquita musulmana ofició de templo católico. Según Bérchez y Zaragozá (1996): "*Aunque las series de libros de fábrica del archivo catedralicio no comienzan hasta avanzado el siglo XIV, se ha considerado el comienzo de las obras en 1262 gracias a una perdida inscripción situada en la tumba del obispo Albalat (1248-1276).*"

Es muy evocadora la metáfora de Penélope a la que Bérchez y Zaragozá (1996) hacen mención en su libro para describir el periplo constructivo del edificio que hoy podemos apreciar. Afirman que así como como el personaje de la Odisea de Homero tejía por el día y destejía por la noche esperando a Ulises, la Catedral fue desde su inicio un tejido construido, que iba rehaciéndose y transformándose sobre la construcción pretérita, como un palimpsesto. Estas transformaciones continuas fueron generadas tanto por necesidades de mayores espacios para congregar a un número creciente de fieles a medida que la ciudad aumentaba su tamaño, bien para acompañar también el crecimiento de la importancia simbólica que iba adquiriendo, o bien para adaptarse a los cambiantes cánones de belleza en sus más de 700 años de historia.

Un ejemplo de ésta metáfora representa la utilización del terreno natural excavado necesario para la construcción de la cimentación del Micalet, utilizados para rellenar los terrenos de calle de la Barchilla, más precisamente el *Fossaret* (Sanchis Sivera, 1909): "*Sólo de la tierra sacada de los cimientos del Miguelete se depositaron devasto lo poní del pasatge de casa del sensor bisbe doscientas dieciocho docenas de cargas*"[1]. También

[1] Según Pastor, (2012) una carga de mula se corresponde con 4 fanegas o 222 lts. Por lo que la carga total serían 580.752 lts, unos 581 $m^3$.

dan cuenta de ello la utilización de los materiales extraídos de la demolición de la torre campanario primitiva para construir la *Llibreria Nova*, ambas acciones tienen como protagonista el espacio que hoy constituye el Museo de la Catedral.

Sin importar la época y dada la significación del edificio, en la construcción de la Catedral trabajaron los más destacados arquitectos, constructores y artesanos, razón que podría explicar que si bien se trata de una fábrica con multiplicidad de estilos y épocas, es a la vez un conjunto armónico, resumen de la mejor arquitectura valenciana de todos los tiempos, desde el medioevo hasta la modernidad.

Ubicada en el punto más alto de la ciudad, punto neurálgico de la "Ciutat Vella", está rodeada de importantes edificios y espacios abiertos: al sur la Plaza de la Reina, al Norte la Plaza de la Virgen, la Basílica de los Desamparados y el Museo de la Almoina, y al Este con el Palacio Arzobispal de València (fig. 1).

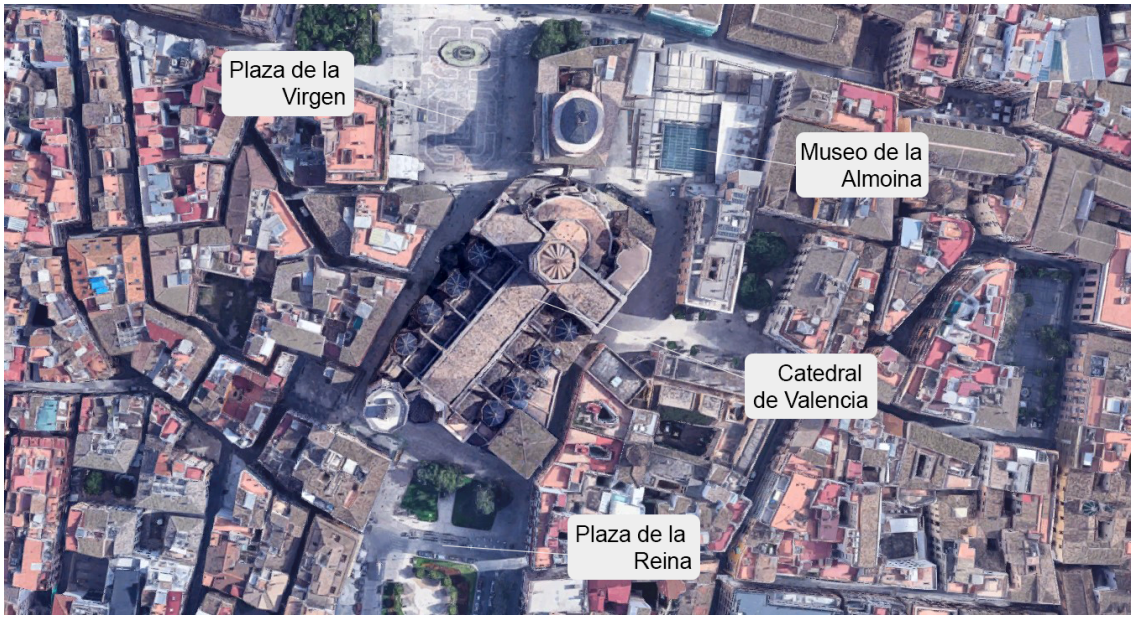



*FIG. 1. Entorno de la Catedral de València. Elaboración propia sobre fotografía satelital de Google Maps (2020).*

La Catedral está vinculada con la Basílica de los Desamparados y el Palacio Arzobispal mediante dos pasos elevados.

Por tratarse del templo más destacado de la ciudad de València, existe mucha literatura sobre la evolución de la construcción del edificio. La obra comenzó por la puerta Románica, en el noreste del edificio, prueba de ello es que la plementería de piedra que compone la bóveda de esa ala del crucero es la única hecha con sillares de piedra. Probablemente hayan decidido reducir los costos una vez empezada la construcción (Vila Ferrer, 2017).

En sus orígenes fue un templo de tres naves y tres crujías, con crucero saliente y presbiterio poligonal abierto directamente al crucero y girola (fig. 2).

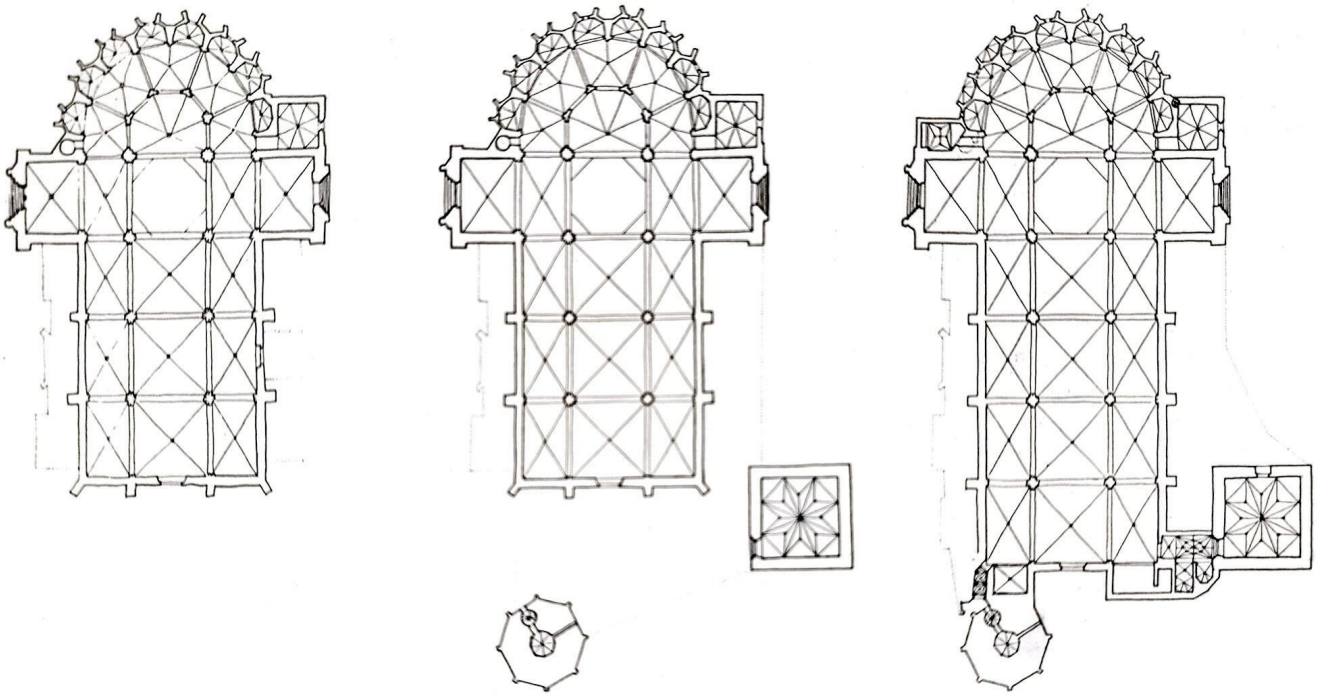


*FIG. 2 Catedral. Evolución de su construcción. (Zaragozá, 1996). Se muestra a) Catedral trecentista. b) Construcciones del siglo XIV. c) Aplicaciones del siglo XV.*

La obra continuó por la cabecera formada por un ábside poligonal y una girola de influencia gótico-francesa, que fue la primera de este tipo construida en la Corona de Aragón (Sanchis Sivera, 1933).

En el periodo gótico, se construyó la puerta de los Apóstoles (siglos XIII-XIV), en el lado opuesto de la anterior, presentando también influencias francesas. Sobre el crucero, se construyó el cimborrio formado por un prisma ortogonal con vidrieras de alabastro.

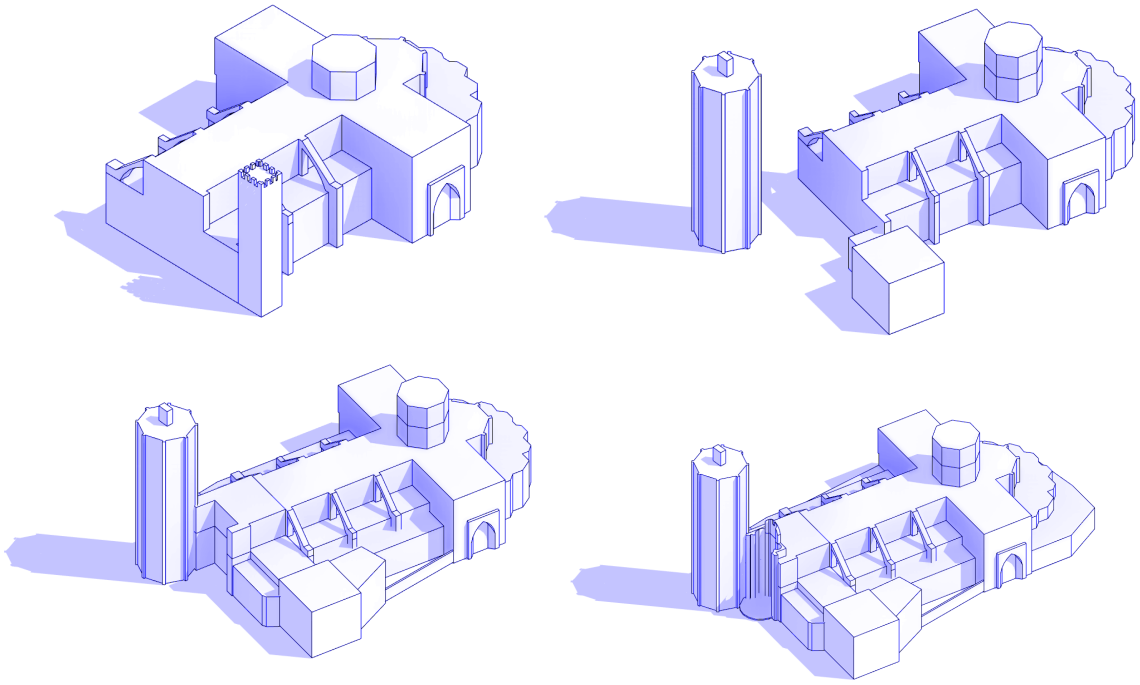


*FIG. 3. Modelos 3d de la evolución de la Catedral. Elaboración propia.*

En el año 1356 se emprendió la construcción del Aula Capitular y en el 1381 la nueva torre campanario, el Micalet. El Micalet sustituyó a la torre campanario primitiva cuyos restos pudieron ser ubicados recientemente durante la ejecución de las obras del actual Museo de la Catedral. Ambas construcciones se situaron a los pies de la nave, separadas del templo. Su particular localización sugiere que se dispusieron alrededor de un

claustro, o espacio que en la segunda mitad del cuatrocientos sería ocupado por la ampliación del templo (Berchez y Zaragozá, 1996).

Es en el siglo XV cuando la Catedral termina configurando casi en su totalidad el volumen y superficie que hoy contemplamos, aunque no así su aspecto. Es en este siglo que se construye la ampliación del segundo cuerpo del Cimborrio, la obra de la "Arcada Nova" y la adición de la crujía a los pies del templo que termina por unir el cuerpo principal del edificio con la sala capitular y el Micalet (fig. 4).

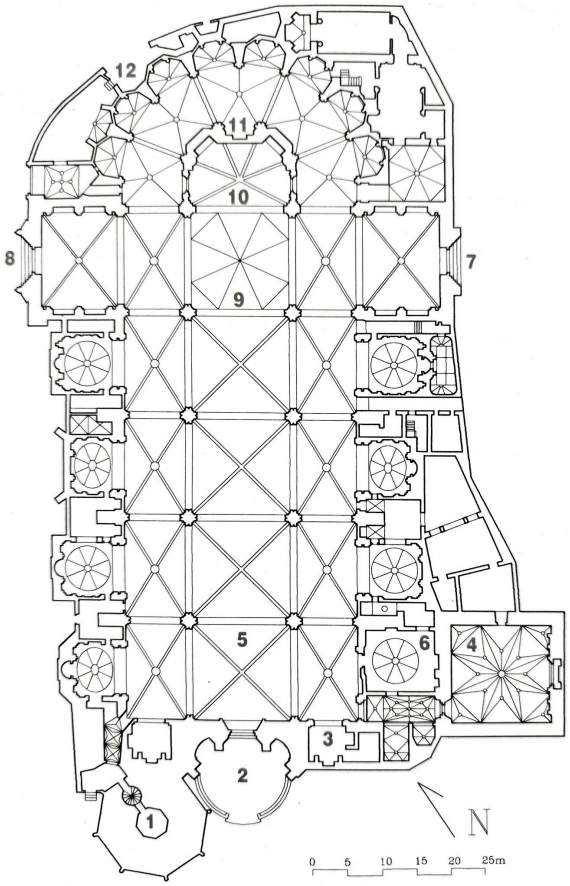



*FIG 4. Catedral. Planta. (Pons Sorolla y Moya, s.f.) 1. Miguelete; 2. Fachada barroca; 3. Capilla de S. Sebastián; 4. Antigua Aula Capitular; 5. Arcada Nova; 6. Parroquia de San Pedro; 7. Puerta del Palau; 8. Puerta de los Apóstoles; 9. Cimborrio; 10. Presbiterio; 11. Capilla de la Resurrección; 12. Obra Nova.*

Nos centraremos ahora en la historia del espacio que ocupa este trabajo. La literatura que existe acerca de este espacio es bastante más exigua, por tratarse de un espacio de importancia periférica dentro del complejo catedralicio. De todas maneras esta porción de la Catedral tiene una historia muy interesante.

El recinto que hoy ocupa el Museo está delimitado hacia el sur por el Aula Capitular, al Oeste por la capilla de San Francisco de Borja y la capilla de San José, al Norte por la capilla de Santo Tomás de Villanueva, y al Este por la calle de la Barchilla.

Según Sanchis Sivera (1909) no es fácil determinar el aspecto que ofrecían la plaza de la Almoina y la calle de la Barchilla en la Edad Media. Es casi seguro que para entrar a la Catedral debían de subirse varios escalones, ya que el nivel de cota de la plaza estaría mucho más bajo, tal vez más de un metro.

La calle de la Barchilla, el límite exterior del Museo de la Catedral, toma su nombre de una placa de piedra de origen romano que actualmente se encuentra ubicada bajo el paso elevado que une la Catedral con el Cabildo de València (fig. 5). Esta placa contiene una leyenda en latín que es reproducida por un pequeño cartel de metacrilato instalado por el Ayuntamiento en el año 2018. Servía en la antigua ciudad romana de Valentia como unidad de medida de volumen para el comercio de granos. En la transcripción se lee: “M. AQVILIO / AQUILINO / AN. XXXXVI / L. PORCIUS / SEVERUS / AMICO. OPTIMO.”

*FIG 5. Fotografía de la placa de la que toma el nombre la calle de la Barchilla, Autor: R. Broquetas (2023).*

Esta parte de la calle tiene interés histórico debido a los cementerios y construcciones que allí existieron. Entre la puerta de la Almoina y el actual paso elevado, se encontraba el "*Fossar dels canonges*", el antiguo cementerio donde solían enterrar a los canónigos. Este cementerio al aire libre se comunicaba por una pequeña puerta con la capilla de San Lucas, que ya no existe. Con el tiempo, este lugar se utilizó para almacenar materiales de construcción y luego se construyó el camarín de Santo Tomás, parte de su capilla y el corredor que conecta la calle de la Barchilla con el interior de la Catedral.

Más adelante, se encuentra el arco o pasadizo, que como mencionamos, fue construido en el siglo XVIII. El arco que hoy existe no fue el primer arco elevado que se construyó. Los arcos anteriores, han desaparecido sin dejar rastro. Según Sanchis Sivera (1909), el permiso para construir el primer arco fue otorgado a Vidal de Blanes el 2 de mayo de 1353. Vidal de Blanes tuvo mayor suerte que su antecesor Hugo de Fenollet, séptimo obispo después de la Conquista, al que le fue denegada la petición.

Siguiendo el recorrido por la calle de la Barchilla, se encontraba el cementerio conocido como "*Fossaret*". Se extendía desde la parte trasera de la capilla de San Miguel hasta el Aula Capitular vieja, rodeando el campanario primitivo y llegando al interior de la iglesia donde hoy está la parroquia de San Pedro. Parte de este cementerio fue utilizado para construir la capilla de San Esteban, y otra parte para la edificación de la llamada *Llibreria Nova*. Aunque el resto del cementerio siguió utilizándose para enterramientos, fue desapareciendo con el tiempo debido a nuevas construcciones, y parte de él se convirtió en un jardín.

En la figura 6 se puede ver el paso elevado. También se puede observar que en parte de lo que hoy es el Museo existía un espacio ajardinado ya que se distinguen árboles. Además se puede ver que el nivel de la construcción del edificio que hoy ocupa el Museo existía un nivel más que hoy día, ya que en la ilustración el rosetón triangular de la Sala Capitular está obstruido por esa construcción.

*FIG. 6. Sector de la Catedral del Mapa de València de Vicente Tosca (1704).*

En la figura 7 se puede ver como quedan los vestigios sobre el muro de la Sala Capitular de lo que fue una cubierta inclinada y los huecos en el muro para amurar las cabezas de vigas.

*FIG. 7. Imagen de encuentro de Museo con Sala Capitular. Autor: R. Broquetas (2023).*

Luego, encontramos el imponente muro del Aula Capitular. Antes de su construcción en 1356, toda la zona que abarcaba, incluyendo las casas de enfrente, constituía la plaza conocida como "*les gallines*", tal vez así nombrada por la venta de aves en ese lugar durante aquel tiempo.

La calle de la Barchilla durante la Edad Media presentaba un aspecto bastante caótico, más parecido a un vertedero que a una calle, debido a su terreno irregular y su nivel más bajo (Sanchis Sivera, 1909).

El 15 de julio de 1438 comenzaron las obras para construir la *Llibreria Nova* en el *Fossaret Vell*, justamente donde hoy se encuentra el Museo de la Catedral. Esta decisión se tomó ya que la sede valenciana había recibido en 1424 de manos de Alfonso V de Aragón, conocido como el Magnánimo, la reliquia del cuerpo de San Luis, obispo de Toulouse, por lo que había decidido edificar una capilla para custodiarla. Las autoridades eclesiásticas decidieron construir la nueva capilla en el lugar que ocupaba la biblioteca catedralicia, por lo que, antes de derribarla, hicieron una nueva. Proyectaron la nueva librería donde se encontraba el antiguo campanario, que desmontaron para construir la nueva dependencia utilizando parte de sus materiales. El campanario ya no era necesario ya que en 1425 se había finalizado la construcción del Micalet, salvo su remate (Hernández, 2016).

Según Miquel Juan (2010), el encargado de las obras de la Llibreria Nova fue Martí Lobet que a partir de 1428 ejerce como maestro de obras de la Catedral, cargo que desempeñó hasta 1439, año de su fallecimiento.

Tras las obras de demolición del antiguo cementerio y del campanario, en 1438-1439 es cuando se documentan las obras más significativas de la *Llibreria Nova* como la compra de las piedras para la columna entorchada (fig. 8), que hoy se puede ver en el Museo (Miquel Juan, 2010).

*FIG. 8. Imagen de columna entorchada en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023). En esta imagen además de la columna y las esculturas originales de piedra de los Santos Apóstoles de la Puerta gótica, se puede ver al fondo, orificios en el muro que comunica con la Sala Capitular. Se supone que estos orificios son para anclar los anaqueles de la Llibreria Nova que funcionó en este nivel.*

El 21 de julio de 1936 durante la Guerra Civil, la Catedral fue saqueada e incendiada, y el espacio que hoy ocupa el Museo no se salvó de los daños (fig. 9). Según Berenguer (2001): "*En la sacristía del Santo Cáliz estaba instalado el Museo Arqueológico Diocesano y allí se hallaban las imágenes y andas de plata de San Vicente Mártir y San Vicente Ferrer, la Custodia Procesional y sus andas, también de plata… Todo quedó destruido por la impetuosidad de las llamas*".

*FIG. 9. Fotografía del estado de la Calle de la Barchilla luego de los incendios provocados en la Guerra Civil (Autor desconocido, circa 1936).*

### 4.2. Historia del Museo Catedralicio Diocesano

El Museo Catedralicio Diocesano es una institución reconocida por la Conselleria de Cultura desde el año 1995. Se trata de un museo dedicado al arte sacro en sus modalidades de escultura, pintura y orfebrería. En él se exponen principalmente aquellas

obras que no pueden ubicarse en sus espacios originales, al haber desaparecido en muchos casos por las sucesivas reformas. Igualmente se exponen las piezas de orfebrería que no se usan actualmente en el servicio litúrgico. Una gran parte de los fondos de este Museo proceden del propio patrimonio mueble de la Catedral y otra está constituida por obras procedentes de un Museo Diocesano fundado por el Arzobispo Reig Casanova en el año 1922. El resto de piezas provienen de donaciones realizadas a la Catedral o adquisiciones.

El "Museo de Antigüedades" fue el primer intento de creación de un museo de titularidad eclesiástica en la Diócesis de València. Fue fundado en el año 1765 por Andrés Mayoral, arzobispo de València de aquel entonces. Se trataba de una colección para el disfrute privado y no de una verdadera institución museística como la entendemos hoy.

Posteriormente, el arzobispo Francisco Fabián y Fuero aumentó esta colección en torno al año 1777. Este museo estuvo ubicado en el Palacio Arzobispal hasta desaparecer con motivo de la invasión francesa de 1812 y la expoliación que se llevó a cabo (Moril Valle, 2008).

A finales del año 1922, el "Museo Arqueológico Diocesano" es formado por el cardenal Enrique Reig Casanova, con el objeto de reunir las obras que se encontraban dispersas por la diócesis en una única colección organizada y accesible.

En el año 1954, el Cabildo y el Arzobispado crearon el "Museo Catedralicio", con el fin de catalogar y exhibir de una manera más racional que en su emplazamiento original, algunas piezas de destacado valor, de la colección catedralicia (Moril Valle, 2008).

Finalmente, en 1966 se crea el "Museo de la Catedral de València", donde se dispuso que el Museo Catedralicio pasara a ser también Museo Diocesano, uniendo ambas instituciones. Desde ese entonces el Museo está ubicado en el mismo sitio que hoy se encuentra.

La actual configuración del espacio que alberga el Museo de la Catedral fue proyectada por Salvador Vila Ferrer, arquitecto de la Catedral, en el año 2016. A las

instalaciones con que ya contaba la configuración del Museo anterior al año 2016 se le incorporaron nuevos espacios, como el subsuelo donde se puede recorrer la excavación arqueológica mediante una pasarela metálica y el espacio del campanario primigenio, espacio que fue encontrado en las obras de dicha reforma (Vila Ferrer, 2017).

### 4.3. Configuración actual del Museo

Actualmente el Museo se encuentra organizado en 3 niveles principales (Subsuelo, Planta Baja y Segundo Piso), y un Primer Piso donde se encuentran los sanitarios y algunos objetos expuestos. Según los datos arrojados por el modelo Revit, la superficie total del Museo es de 594,5 m² (fig. 10).

| Nivel | Superficie (m²) |
|---|---|
| Subsuelo | 84,8 |
| Planta Baja | 207,0 |
| Primer Piso | 7,0 |
| Segundo Piso | 295,7 |
| Total | 594,5 |

*FIG.10. Tabla de superficies del Museo. Elaboración propia.*

La Planta Baja se encuentra unos centímetros por encima del nivel de piso terminado de la planta principal de la Catedral. Se salva este desnivel por medio de una rampa con poca pendiente que conduce a la Sala I -Eucaristía-. Además de la Sala I, la Planta Baja cuenta con la Sala II -Manierismo y Barroco- y la Sala III -Academicismo- (fig. 11). Además de las salas expositivas, la Planta Baja también cuenta con la Tienda de regalos. En esta planta es donde se encuentran tanto el Ingreso como la Salida al Museo, y es totalmente accesible.

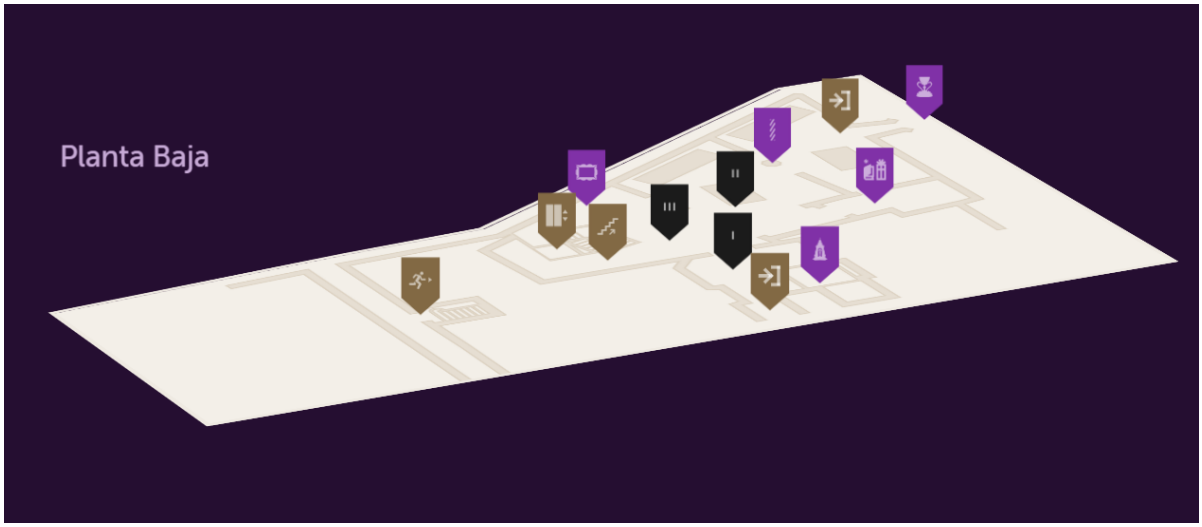



*FIG. 11. Planta Baja del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/*

En el Subsuelo se encuentra la Sala X, dedicada a la excavación arqueológica. El recorrido se hace mediante una pasarela metálica. Se accede únicamente mediante una escalera por lo que no es accesible para todo público (fig. 12).

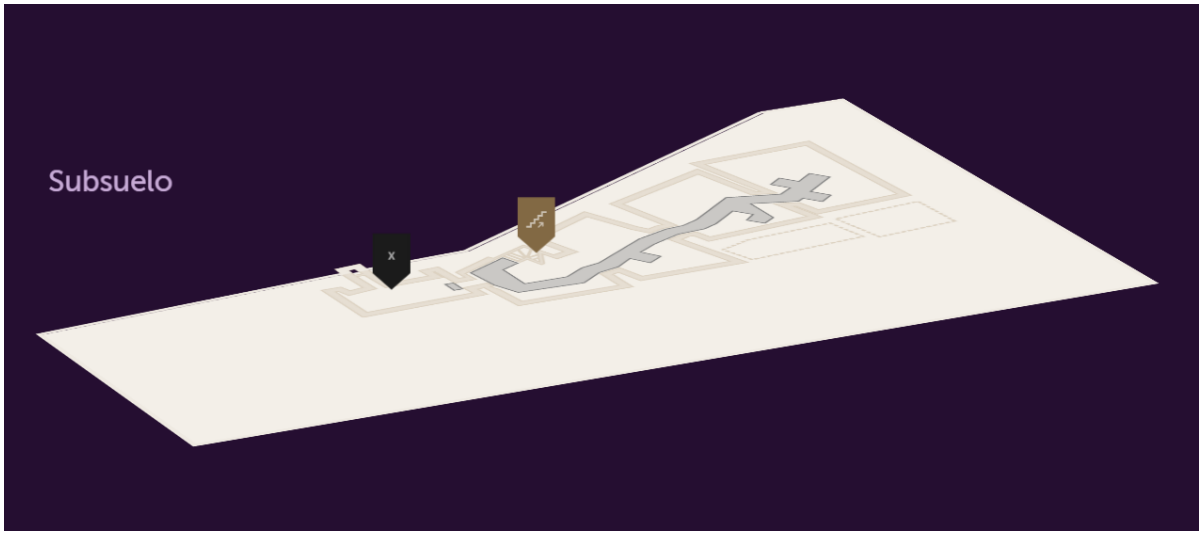



*FIG. 12. Planta Subsuelo del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/*

En el Primer Piso, accesible mediante escalera y ascensor, se encuentra la Sala IV, que es en realidad un espacio de circulación, y los sanitarios que sirven a toda la Catedral. Los sanitarios están compuestos por dos baños, uno de los cuales es accesible. Al Primer Piso se accede tanto por el ascensor como por la escalera (fig. 13).

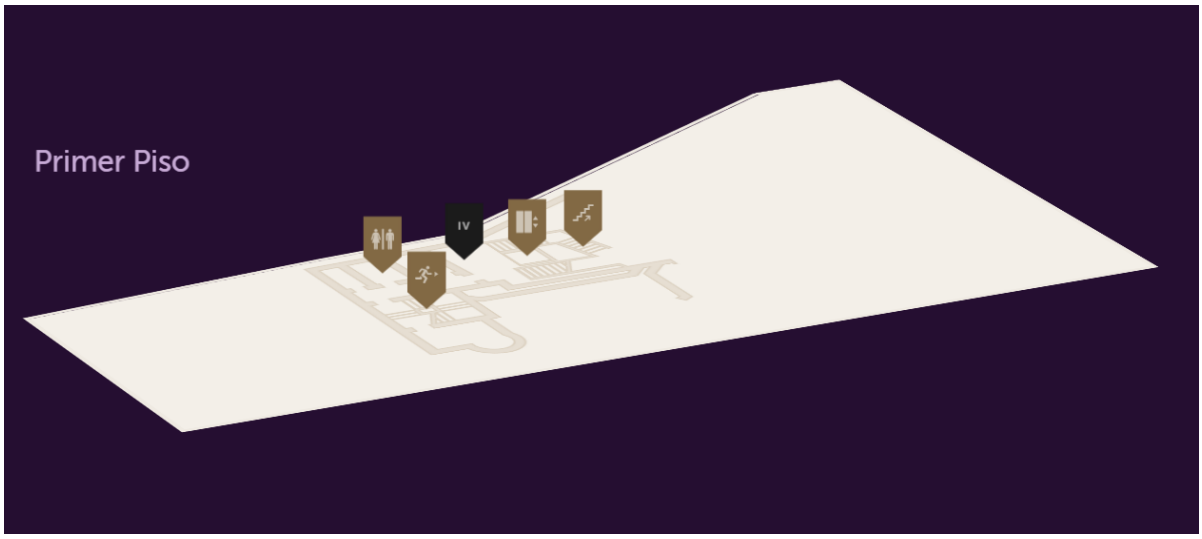



*FIG. 13. Primer Piso del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/*

El Segundo Piso es el más extenso de todos. Cuenta con la Sala V -Renacimiento-, Sala VI -Renacimiento-, Sala VII -Gótico-, Sala VIII -Antigua Torre-, la Sala IX -Relicario- y Sala XI -Barroco (fig. 14). Menos la sala VIII -Antigua Torre-, que se ingresa únicamente descendiendo por una escalera, el resto de las salas que componen el Primer Piso son totalmente accesibles.

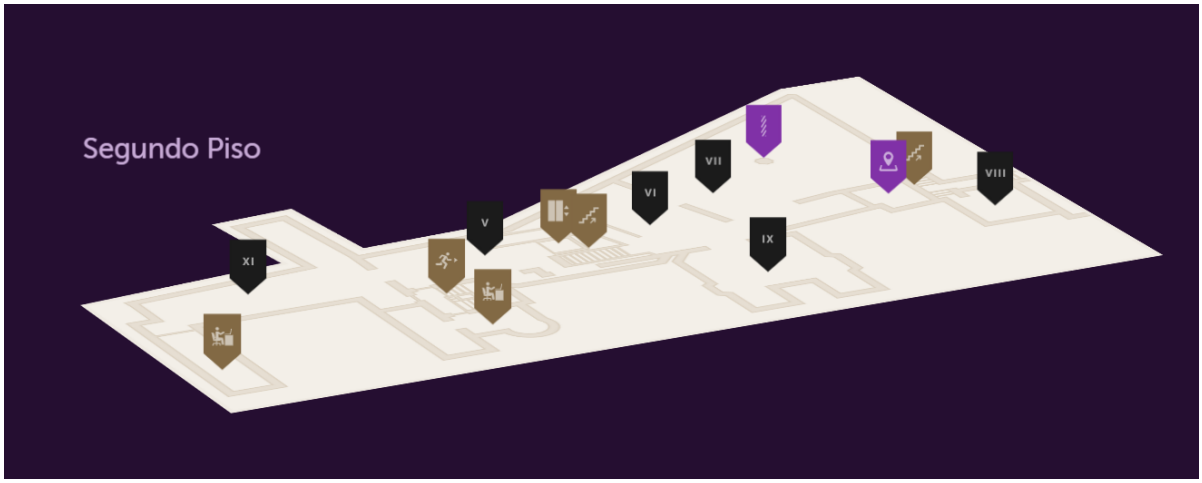



*FIG. 14. Segundo Piso del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/*

### 4.4. Características de la colección artística del Museo

Para poder conocer las características del acervo artístico del Museo se recurrió al catálogo que figura en la página web oficial del Museo de la Catedral de València.[2]

A partir de los datos recabados en la página en formato texto, se procedió al ingreso de los mismos en una planilla. Luego se clasificaron según época de elaboración de la pieza y la técnica empleada.

El dato de técnica y años de las obras nos permitirá caracterizar el acervo del Museo para luego poder establecer qué medidas ambientales son las óptimas para este espacio expositivo en particular.

En las figuras 15 y 16, se pueden ver los resultados de las técnicas y de los años de elaboración expresados en forma de gráfico porcentual circular.

[2] https://museocatedralvalencia.com/la-coleccion/catalogo-de-obras/, visitado en Mayo de 2023.

Según se puede observar en la figura 15 las piezas más antiguas corresponden a obras realizadas en el siglo XIII, siglo en el que fue inaugurada la Catedral. Las obras abarcan un período de una extensión de siete siglos, desde el mencionado siglo XIII hasta obras del siglo XX .

Aproximadamente la mitad de las obras se corresponden a los siglos XIII al XVI, por lo que estamos ante un Museo con una importante incidencia de piezas históricas.

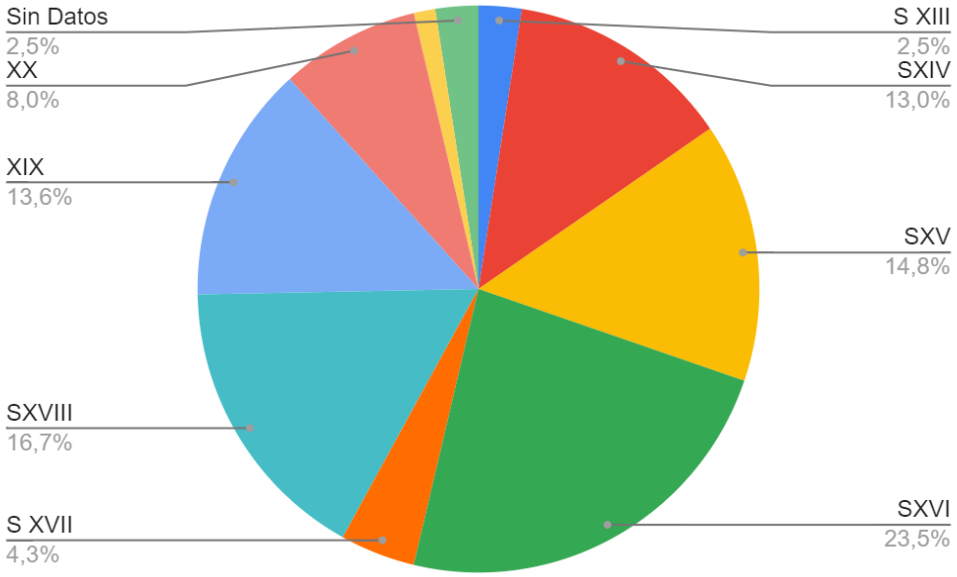



*FIG. 15. Gráfico de la composición de la colección del Museo discriminada por épocas de elaboración de las piezas. Elaboración propia.*

Con respecto a la técnica empleada de las piezas expuestas, podemos observar en la figura 16, que si bien existe una gran variedad de tipos de obras de arte, la mayor parte de la colección se corresponden a la categoría de escultura/platería/joyería elaborados con diversidad de materiales (madera, metales, piedras, piedras precios) con un 57,5%. La

segunda técnica en cantidad se corresponde con obras pictóricas. El Museo además cuenta con pergaminos, libros y tejidos expuestos en menor proporción.

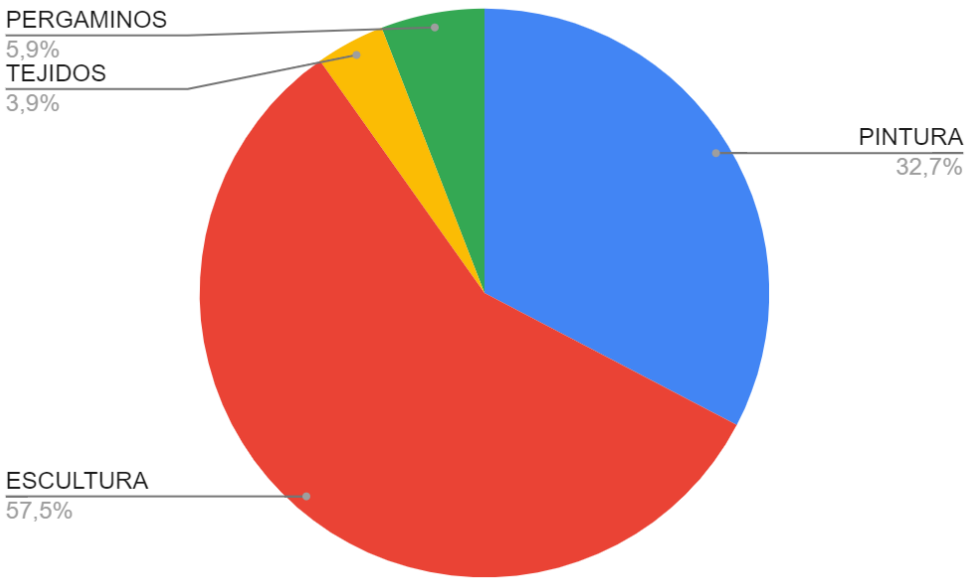



*FIG. 16. Gráfico de la composición de la colección del Museo discriminada por técnica empleada. Elaboración propia.*

Según la página oficial de la Catedral de València[3] los horarios de visita y las tarifas al día de hoy son los siguientes:

Del 1 de enero al 28 de febrero

| Días | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horario | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 17:30 h. | No hay visita. |

[3] Información extraída de https://catedraldevalencia.es/visita-cultural/horarios-y-tarifas/ visita en el mes de julio de 2023.

Del 1 de marzo al 30 de junio

| Días | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horario | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 17:30 h. | 14:00 a 17:30 h. |

Del 1 de julio al 30 de septiembre

| Días | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horario | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 14:00 a 18:30 h. |

Del 1 al 30 de noviembre

| Días | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horario | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 17:30 h. | 14:00 a 17:30 h. |

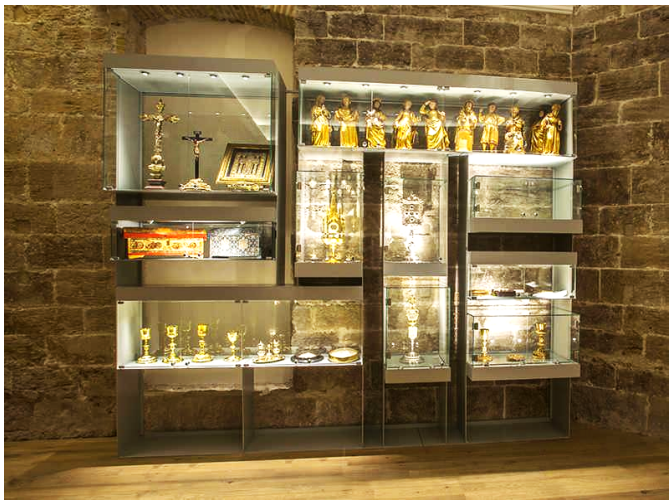
Del 1 al 31 de diciembre

| Días | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Horario | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 18:30 h. | 10:30 a 17:30 h. | No hay visita. |

Las tarifas son las siguientes:

| Entrada general | Entrada Reducida | Pack Familias | Entrada Grupos | Parroquias y Comunidad Valenciana |
|---|---|---|---|---|
| 9.00 € | 6.00 € | 20.00 € | 4.00 € | 1.00 € |

En las figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 se presentan algunos de los objetos expuestos en el Museo.



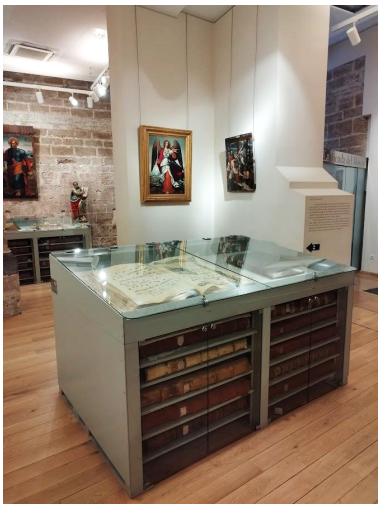


*FIG. 17 a 23. Imágenes de piezas expuestas en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023).*

### 4.5. Condiciones ambientales óptimas para la conservación de obras de arte en museos

Según el Consejo Internacional de Museos ICOM (2023), "*un museo es una institución sin ánimo de lucro, permanente y al servicio de la sociedad, que investiga, colecciona, conserva, interpreta y exhibe el patrimonio material e inmaterial. Abiertos al público, accesibles e inclusivos, los museos fomentan la diversidad y la sostenibilidad. Con la participación de las comunidades, los museos operan y comunican ética y profesionalmente, ofreciendo experiencias variadas para la educación, el disfrute, la reflexión y el intercambio de conocimientos*".

Los museos tienen la doble finalidad de conservar y exhibir piezas. Estas dos finalidades muchas veces son difíciles de compatibilizar, sobre todo en espacios que contienen piezas frágiles.

Según Berenguer Subils y Martí Soler (2004): "*Los ocupantes de un edificio son en sí una fuente de contaminación, ya que el ser humano produce de modo natural dióxido de carbono, vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos*". Es por esta razón que es importante tener un control de cuál es la afectación de los visitantes a espacios de exhibición cerrados.

Según el Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales ICCROM y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD / Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (1984), los agentes de destrucción a los que los materiales de los cuales están compuestas las colecciones de los museos están expuestos, son numerosos y tienen diversos orígenes. Pueden ser humanos o naturales, físicos o químicos. Dentro de estas categorías el más implacable de todos ellos es el clima. Las variaciones de humedad son las más peligrosas ya que los objetos reaccionan rápidamente a las variaciones de humedad relativa (HR). Por ello, resulta básico poder conocer y medir la variación de la humedad relativa de las salas del museo para poder controlar ese aspecto.

Se define la humedad absoluta (HA) como el peso del vapor de agua contenido en volumen de aire dado a una determinada temperatura. Se expresa en gramos de agua por metro cúbico de aire. Se define a la humedad relativa (HR) a la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua contenido en el aire (HA) y la que habría si, a igual temperatura, el aire estuviese saturado.

Según el Instituto del Patrimonio Cultural de España IPCE (2009), el mantenimiento de la humedad relativa del aire de forma precisa es prioritaria respecto a otros parámetros ya que la humedad es el factor climático más importante para la conservación de obras de arte.

Según Herráez (1989), existen matices para establecer las condiciones ambientales óptimas. Estos matices tienen que ver en primer lugar con la naturaleza de los objetos, teniendo en cuenta materiales, técnica de fabricación y modo en el que están ensamblados, las condiciones a las que han sido expuestos a lo largo de su existencia, y los deterioros y tratamientos que han recibido. Todos estos factores hacen que cada pieza tenga unas condiciones ambientales óptimas de conservación. Pero como la alternativa de establecer para cada objeto un parámetro óptimo resulta para la mayoría de los casos de los museos algo imposible de practicar en términos de presupuesto, se establecen unos parámetros con límite mínimo y máximo. Establecer estos valores ambientales generales para la conservación en salas permite aislar en vitrinas a aquellos objetos que por su naturaleza y valor requieran de unas condiciones especiales.

Según Michalski (2013), en el año 2008 se celebró la Conferencia de *National Museum Director's Council*, bajo el liderazgo del Director del Tate en ese entonces, Nicholas Andrew Serota. En esa instancia se formularon un conjunto de principios rectores para incluir por primera vez a la reducción de huella de carbono como consideración fundamental a tener en cuenta en la gestión de los museos. Eso incluía a las exigencias ambientales exigibles en ambientes interiores. Se aceptaron tolerancias de humedad relativa (HR) más amplias en aras de reducir el consumo de energía, aunque con la estipulación de que los materiales sensibles necesitan controles más estrictos

mediante el uso de microclimas. Estas directrices recomiendan una HR en el rango del 40% al 60% y una temperatura en el rango de 16ºC a 25ºC.

Teniendo en cuenta estas directrices, para este trabajo utilizaremos estas pautas para la consideración ambiental (fig. 24):

| HR mín | HR max | T min | T max |
|---|---|---|---|
| 40% | 60% | 16ºC | 25ºC |

*FIG 24. Condiciones ambientales óptimas para la conservación de obras de arte en museos. Elaboración propia a partir de Michalski* (2013).

### 4.6. Capacidad de Carga Recreativa

Existe una gran variedad de definiciones acerca del concepto de Capacidad de Carga Recreativa (CCR), como también es profusa la bibliografía que trata la materia.

Viñals *et al* (2017), define el concepto como el número máximo de visitantes que pueden desarrollar al mismo tiempo una actividad recreativa de calidad sin riesgo de degradar el patrimonio ni su entorno y bajo condiciones de confort.

La CCR es una de las herramientas de gestión del patrimonio más reconocidas, para garantizar la sostenibilidad de la actividad turística. La determinación de la CCR resulta compleja debido a que la diversidad de escenarios donde tienen lugar las actividades recreativas es muy amplia (espacios abiertos, cerrados, confinados, etc.) y no existe un método que se ajuste perfectamente a toda esa variedad de situaciones.

Dentro del contexto de los estudios relacionados con la CCR, surge un aspecto de gran relevancia, centrado en la identificación de las necesidades de espacio personal que las personas requieren para llevar a cabo la actividad propuesta en condiciones de alta calidad y confort. Por ende, es crucial determinar la naturaleza de la actividad a desarrollar, discerniendo si se trata de una actividad estática o, por el contrario, implica un grado de movilidad. Además, se debe considerar si las actividades propuestas demandan una extensión mayor de espacio personal.

Para el caso que nos ocupa, la actividad recreativa a realizar en el Museo es la visita y observación. Así, en lo que respecta a la asignación de espacio personal, se han empleado los estándares de proxémica (fig. 25), los cuales se refieren a las distancias medibles que regulan las interacciones entre individuos. Al aplicar estos criterios, se procede a establecer el número máximo de personas que el espacio puede albergar de manera simultánea en una disposición estática (Viñals et al. 2017).

Cuadro CCR1
Ejemplos de estándares de proxémica y de confort recreativo

| | |
|---|---|
| Distancia mínima de lectura de los paneles | 1,00 m |
| Filas de personas frente a los paneles interpretativo-educativos | 2 filas |
| Superficie mínima viable por visitante en espacios cerrados en actividades en grupo | 1.20 $m^2$ |
| Superficie mínima viable por visitante en espacios abiertos en actividades en grupo | 1,50 $m^2$ |
| Superficie mínima viable por visitante en actividades recreativas dinámicas | 4 $m^2$ |
| Distancia mínima de contacto visual entre personas en senderos lineales (visitas autónomas) | 50 m |
| % de ocupación del sendero por parte de los usuarios | 10% |
| Distancia de seguridad hasta los bordes de desniveles pronunciados | 1 m |

*FIG. 25. Ejemplos de estándares de proxémica y de confort recreativo. Viñals et al. (2017)*

Como conceptos complementarios podemos citar la Superficie Útil para la Recreación (SUR), que es la superficie apta para la visita pública. Esta superficie resulta de la diferencia entre la superficie total y la Superficie No Útil de Recreación (SNUR) que es la superficie no apta para la visita pública por razones conservacionistas, por seguridad, fragilidad, disposición de componentes internos o incompatibilidad de uso (Salvador García, 2020).

Se considera HBIM como una herramienta fundamental para el análisis espacial de los edificios patrimoniales en el marco de la estimación de la CCR.

### 4.7. Métodos utilizados para contabilizar aforo de un espacio

Existen varios métodos para poder contabilizar el aforo de un espacio. Con la llegada de la pandemia del coronavirus Covid-19 en el año 2020, y las limitaciones de aforo producto de las restricciones gubernamentales, las técnicas para el control de personas que permanecen en el interior de un recinto experimentaron un importante desarrollo.

Hoy día existen varios métodos para el conteo de personas (manuales, automáticos, detección de wifi, cámaras con inteligencia artificial, etc). Los que cuentan con menor proporción de error son los métodos que implican barreras físicas, es decir, que dependen de la activación de algún mecanismo físico cuando un visitante pasa de cierto lugar a otro, activando la cuenta de manera automática.

Dentro del grupo de los métodos de contar personas con barreras físicas encontramos los torniquetes bidireccionales de control (fig. 26). Este tipo de dispositivos se utilizan generalmente en espacios con gran afluencia de público como pueden ser espectáculos artísticos masivos, transporte público como metros y aviones, etc. Tienen la capacidad de contar las personas que ingresan o salen, además de poder contener un sistema de control que permita o impida el pasaje.

*FIG. 26. Imagen de torniquete bidireccional. Fuente: google.com.*

Al pasar una persona, los brazos con los que cuenta el dispositivo giran sobre su eje y ese desplazamiento activa el mecanismo sumando o restando una persona al contador según sea el caso. Este tipo de dispositivos tienen la ventaja de contar con un error prácticamente nulo en la medición, por supuesto que cabe la posibilidad de que sean vulnerados. Como desventaja podemos decir que instalar este tipo de dispositivos supone una inversión considerable desde el punto de vista económico, además de tener que adaptar tanto el ingreso como el egreso para que puedan ser instalados, alterando la imagen del espacio.

Otra posibilidad de contar visitantes es con la utilización de sensores. En el texto de Álvarez Coll *et al.* (2020) se hace una recopilación de distintos métodos de control de aforo en espacios cerrados utilizando sensores.

Los sistemas con detección wifi, según Alvarez Coll *et al.* (2020) se basan en el registro de *Media Access Control Identifier* (MAC ID) de cada *smartphone* que accede o sale del local. Lo que otorga la posibilidad de saber cuántas personas se encuentran en el interior y al estar estas identificadas con un número único, cuánto tiempo dura su visita. Este sistema es el que utiliza Google Maps para algunos sitios y nos presenta un gráfico con la ocupación promedio semanal según las horas, y la concurrencia en tiempo real comparada con un día tipo (fig. 27).

*FIG. 27. Imagen de horas punta de sitio aleatorio. Fuente: googlemaps.com (2023)*

Google Maps no cuenta hoy día con esa información de la Catedral de València y tampoco en su Museo. Este sistema de detección tiene la dificultad de que no contempla la posibilidad de que los visitantes o bien no tengan consigo un smartphone o que dispongan de varios equipos. Otra dificultad radica en que es difícil delimitar el espacio de detección como el caso de nuestro Museo, pudiendo haber personas circulando por las inmediaciones del Museo Catedralicio que sean contadas como visitantes sin haber ingresado al espacio.

El método de conteo de personas mediante cámaras con Inteligencia Artificial (IA) es una avanzada técnica utilizada para rastrear y contar personas en un espacio determinado. Esta técnica se basa en la capacidad de las cámaras equipadas con algoritmos de IA para analizar imágenes o secuencias de video y detectar automáticamente la presencia y movimiento de personas. La IA utiliza algoritmos de

aprendizaje profundo para identificar patrones visuales, como formas y movimientos humanos, lo que permite el seguimiento preciso y el conteo en tiempo real. Este método puede ajustarse para diferenciar entre direcciones de movimiento y puede tener en cuenta factores como cambios de iluminación y condiciones ambientales variables para mejorar la precisión del conteo (Dittrich, 2017).

El método de conteo por señales infrarrojas es una técnica utilizada para contar personas u objetos en un espacio mediante sensores que emiten rayos infrarrojos. Cuando una persona cruza el camino de estos rayos, se produce una interrupción en la señal que el sensor detecta, permitiendo el registro de un evento de detección. Esto posibilita el conteo preciso de personas en movimiento y una detección en tiempo real. A pesar de su alta precisión, los sensores infrarrojos pueden verse afectados por condiciones ambientales como la luz solar directa y requieren un posicionamiento cuidadoso para evitar falsos positivos o negativos (Orrite-Uruñuela, 2018).

Por último describiremos el método de conteo por señales de ultrasonido. Es una técnica empleada para contar personas u objetos en un espacio determinado mediante el uso de sensores que emiten ondas ultrasónicas de alta frecuencia. Estas ondas se reflejan en los objetos en movimiento, como personas, y el sensor detecta los cambios en las señales reflejadas para identificar y contar estos objetos. Dado que las ondas ultrasónicas son imperceptibles para los humanos y no se ven afectadas por condiciones de iluminación, este método ofrece una detección eficaz incluso en entornos con obstáculos visuales, como estanterías o columnas. Sin embargo, es esencial un posicionamiento estratégico de los sensores para evitar resultados incorrectos debido a reflexiones indeseadas (Khoenkaw, 2020).

### 4.8. Definiciones de conceptos: BIM, HBIM y Gemelo digital

*Building Information Modeling* (BIM) es un enfoque integral para la creación, gestión y colaboración en proyectos de construcción y diseño. Implica la generación y gestión de datos de edificios y activos a lo largo de su ciclo de vida. BIM se basa en la creación y uso de modelos digitales en 3D que contienen información detallada sobre geometría, materiales, costos, tiempos y otras propiedades. Facilita la colaboración y mejora la eficiencia en todas las etapas del proyecto (Eastman *et al.*, 2011).

*Heritage Building Information Modeling* (HBIM) es una extensión del concepto de BIM aplicada a la preservación, restauración y gestión de edificios históricos y patrimoniales. Combina la tecnología BIM con metodologías y enfoques específicos para abordar los desafíos únicos de la conservación del patrimonio. Permite documentar y preservar el estado actual de los edificios históricos de manera digital y colaborativa. (Antonopoulou, 2017).

Un Gemelo Digital (o *Digital Twin* en inglés) es una réplica digital precisa de un objeto, sistema o proceso del mundo real. Este concepto va más allá de la representación en 3D y abarca la integración de datos en tiempo real y la simulación. Un Gemelo Digital puede ser utilizado para supervisar, analizar y optimizar el rendimiento, así como prever el comportamiento en el mundo real (Lee *et al.*, 2013).

# 5. Metodología de la investigación

Este capítulo tiene como objetivo describir el conjunto de técnicas y metodologías empleadas con la finalidad de lograr los objetivos planteados.

## 5.1. Elaboración de un modelo HBIM a partir de una nube de puntos

El desarrollo de un modelo HBIM (*Heritage Building Information Modeling*) a partir de una nube de puntos requiere seguir un proceso meticuloso para lograr resultados precisos y eficientes.

La primera etapa consistirá en recopilar datos mediante técnicas de escaneo láser terrestre u otras tecnologías tridimensionales de captura de datos (fig. 28). Es crucial obtener una nube de puntos precisa que represente con precisión la geometría y las características del edificio o patrimonio histórico en cuestión (Jordán Palomar, 2019).

*FIG. 28. Fotografía del levantamiento realizado en la Catedral de València. Autor: Pablo A. Escudero (2022)*

En el caso del presente trabajo la nube de puntos fue realizada por el equipo de investigación de "Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino". La toma de datos fue realizada con un Scanner láser marca FARO, modelo Focus 3D x130 cuyas especificaciones se muestran en la figura 29, durante el mes de mayo de 2022. La toma de datos de toda la Catedral implicó el posicionamiento de 540 estaciones y 63 para el Museo.

## ESPECIFICACIONES DE PRECISIÓN FOCUS$^{3D}$ X 130

**Unidad telemétrica**

| | |
|---|---|
| Intervalo de ambigüedad: | >130m |
| Rango Focus$^{3D}$ X 130: | 0,6m - 130m en interiores o al aire libre e incidencia normal en superficies reflectantes de un 90% |
| Velocidad de medición: | 122.000 / 244.000 / 488.000 / 976.000 (puntos/seg) |
| Error de rango[1]: | ±2mm |

| Rango de ruido[2] | @10m | @10m - ruido reducido[3] | @25m | @25m - ruido reducido[3] |
|---|---|---|---|---|
| @ 90% refl. | 0.3mm | 0.15mm | 0.3mm | 0.15mm |
| @ 10% refl. | 0.4mm | 0.2mm | 0.5mm | 0.25mm |

**Unidad de color**

| | |
|---|---|
| Resolución: | hasta 70 megapíxeles en color |
| Función de color dinámico: | adaptación automática del brillo |
| Paralaje: | Co-axial |

**Unidad reflectora**

| | |
|---|---|
| Campo de visión (vert./ hori.): | 300° [5] / 360° |
| Resolución (vertical/horizontal: | 0,009° (40.960 3D pixel en 360°) / 0,009° (40.960 3D pixel en 360°) |
| Velocidad max. de escaneo vert.: | 5.820rpm o 97Hz |

**Láser (emisor óptico)**

| | |
|---|---|
| Clase Láser: | Clase 1 |
| Longitud de onda: | 1550nm |
| Divergencia del haz: | Typical 0,19mrad (0,011°) (1/e, medio ángulo) |
| Diámetro del haz (al salir): | Typical 2,25mm (1/e) |

**Gestión de datos y control**

| | |
|---|---|
| Almacenamiento de datos: | SD, SDHC™, SDXC™; tarjeta de 32 GB incluida en la entrega |
| Control del escáner: | mediante pantalla táctil y WLAN |
| Nuevo acceso WLAN: | es posible controlar el escáner a distancia, visualizar y descargar los escaneos con dispositivos portátiles con Flash® |

**Multi-Sensor**

| | |
|---|---|
| Compensador de eje dual: | Nivela cada escaneo: exactitud 0,015°; rango de medición ± 5°. |
| Sensor de altura: | Con ayuda de un altímetro electrónico, se puede averiguar la altura en relación con una referencia y asignar al escaneo. |
| Brújula electrónica[4]: | La brújula electrónica confiere a los escaneos una orientación en relación con los puntos cardinales. Dispone de una función de calibración. |
| GPS: | GPS integrado |

*FIG. 29. Ficha técnica del Faro Focus 3d x 130. Instrumento utilizado para la toma de datos. Fuente: faro.com*

Una vez obtenida la nube de puntos, se procede a la etapa de preprocesamiento de datos. En esta fase, se lleva a cabo la limpieza y preparación de la nube de puntos para su uso en el modelo HBIM. Esto implica eliminar puntos que estén fuera de la geometría de interés o que puedan haber sido interpretados erróneamente debido a superficies reflectantes u otras circunstancias que puedan haber afectado la calidad de la toma.

La calidad de los datos capturados depende de varios factores, entre ellos: las características del instrumento utilizado, la configuración interna del equipo durante la captura, las condiciones ambientales al momento de la toma, y la distancia entre la estación y los objetos escaneados. Se verificará la calidad de la nube de puntos tomada mediante el software Autodesk Recap Pro (fig. 30).

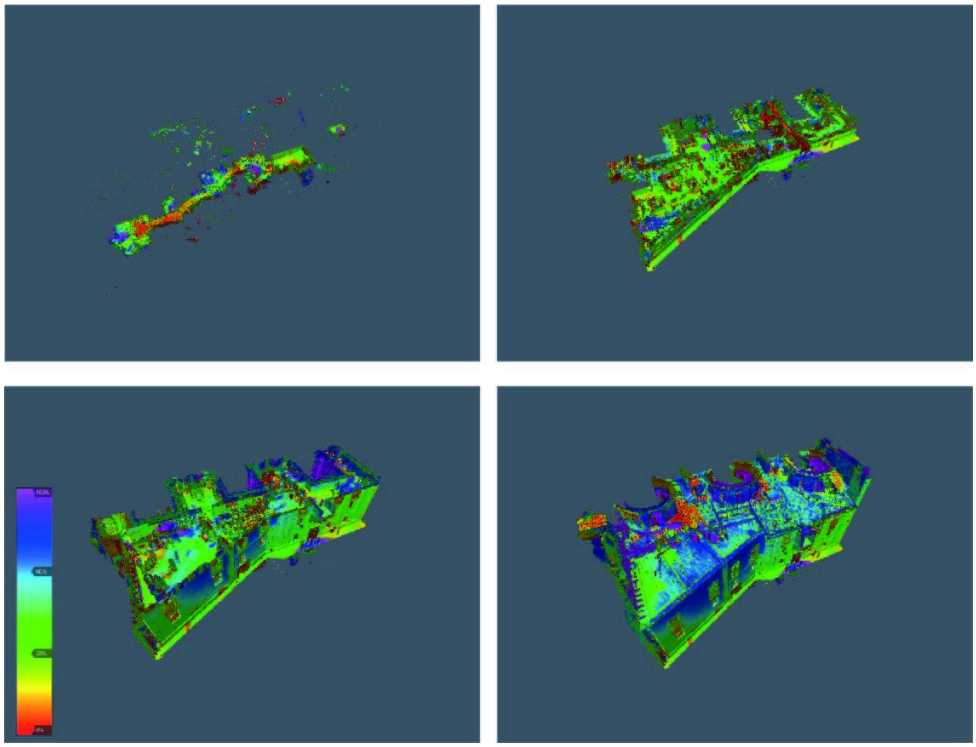


*FIG. 30. Captura de pantalla de verificación de calidad de datos de nube de puntos. En la imagen se aprecia la nube de puntos del Museo en secciones horizontales en diferentes alturas. Elaboración propia.*

A continuación, se realizará el modelado geométrico utilizando el software Autodesk Revit, ampliamente empleado en la tecnología BIM. Se escogió este software ya que se utilizará para desarrollar el modelo 3D de la Catedral completa y resulta importante usar la información generada en el mismo entorno de trabajo. Para la generación del modelo de nube de puntos se importará una nube de puntos georeferenciada (fig. 31). El software reconoce las coordenadas geográficas y permite su inserción de manera que el modelo final pueda ser integrado fácilmente con la geometría de la Catedral.

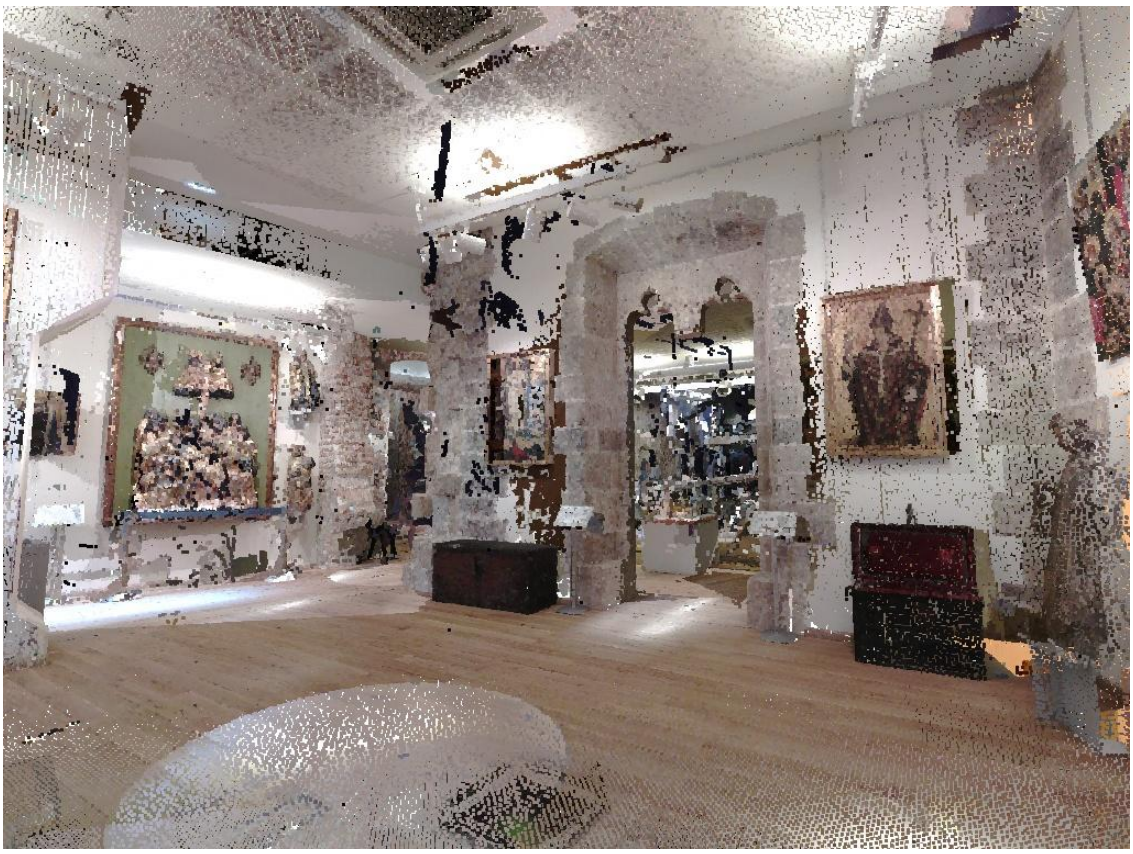


*FIG. 31. Captura de pantalla de verificación de calidad de datos de nube de puntos. Elaboración propia.*

Para crear geometrías precisas de los elementos arquitectónicos identificados en la nube de puntos, se utilizarán técnicas como el modelado mediante familias, modelado

poligonal, de superficies o de sólidos, según corresponda en cada caso. Además del modelado geométrico, es importante asignar atributos y metadatos a los elementos modelados para agregar información adicional, como materiales, propiedades históricas y fechas de construcción. Esto enriquece la representación del edificio en el modelo HBIM y facilita su análisis y gestión.

Para lograr este cometido se incorporarán al proyecto nuevos parámetros de Datos en Revit (fig. 32), siguiendo la sugerencia realizada en el "*Protocol to manage heritage building interventions using Heritage Building Information Modelling (HBIM)*" (Jordán Palomar, 2019).

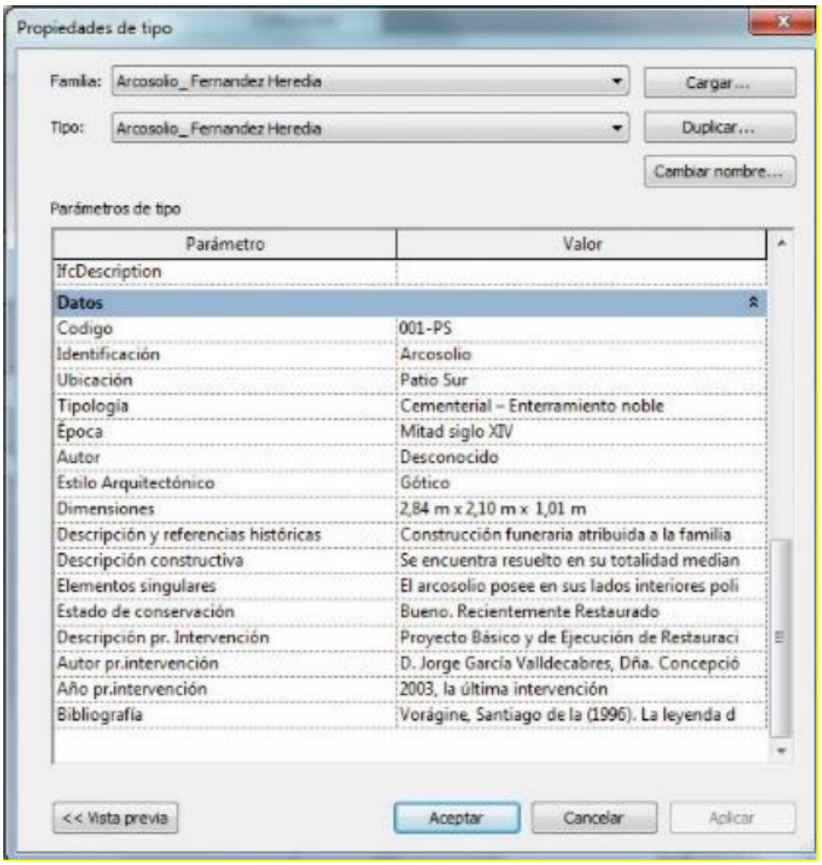



*FIG. 32. Parámetros BIMlegacy. Fuente Jordán Palomar (2019).*

Una vez completado el modelo HBIM, se procede a su validación y corrección. Esto implica verificar la precisión y calidad del modelo mediante comparaciones con la nube de puntos original y con datos históricos existentes. Se realizan ajustes y correcciones necesarios para mejorar la fidelidad del modelo.

### 5.2. Determinación del tiempo de duración media de visita

El dato del tiempo de duración media de visita al Museo de la Catedral se obtendrá mediante la medición directa de 18 casos testigo. Se cronometrará el tiempo de estancia de 20 personas al azar mediante el uso de un cronómetro y se registrará el tiempo de permanencia desde que ingresa al Museo hasta que se retira. La toma de datos se realizará en dos días consecutivos. Con el fin de abarcar el mayor rango etario posible, se tomarán 3 mediciones por día de cada uno de estos grupos etarios: niños (0-12 años), jóvenes (12 a 30 años) y adultos (+30 años). Se tomarán en esos dos días un total de 20 mediciones (fig. 33).

Se completará la siguiente tabla:

| | DIA 1 fecha: | | | DIA 2 fecha: | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | TOMA 1 (min) | TOMA 2 (min) | TOMA 3 (min) | TOMA 4 (min) | TOMA 5 (min) | TOMA 6 (min) |
| NIÑO (0-12) | | | | | | |
| JOVEN (12-30) | | | | | | |
| ADULTO (+30) | | | | | | |

| | |
|---|---|
| Promedio (min) | |

Registro a cargo de:

*FIG. 33. Toma de datos de duración media de visita. Elaboración propia.*

## 5.3. Datos de visitas diarias a la Catedral de València

El acceso de los visitantes a la Catedral de València se realiza mediante un único punto ubicado en la Puerta de los Hierros. Para poder visitar el Museo Catedralicio es necesario atravesar la entrada principal, y abonar la entrada en el mostrador de madera ubicado a mano derecha. El control de visitantes diarios que se acercan a recorrer la Catedral se obtiene mediante el conteo de las entradas vendidas. El abono de la entrada da derecho a la visita del Museo.

Ese dato será proporcionado por la Catedral de manera diaria. Permitirá comparar el porcentaje de los visitantes que habiendo ingresado a la Catedral deciden también ingresar al Museo.

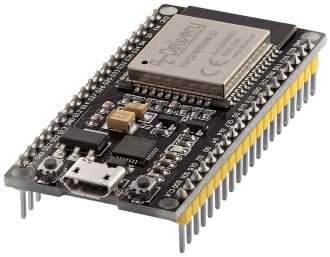
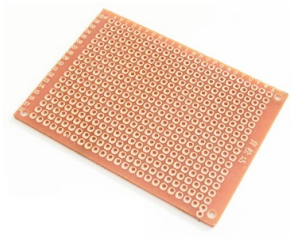
## 5.4. Determinación del flujo de visitantes en el Museo

Para determinar el flujo de visitantes en el Museo se recurrirá a sensores ultrasónicos de proximidad. Al ser un trabajo académico y con limitaciones de presupuesto se decidió desarrollar el sensor desde origen.

A continuación se describen las fases del proceso de elaboración del sensor.

### 5.4.1. Construcción del circuito

Se diseñó un circuito con elementos de bajo coste que cumpliera con los requerimientos del proyecto. Al haber dos puntos de ingreso/egreso en el Museo se confeccionaron dos circuitos idénticos. Para la elaboración de cada uno de los dos sensores se emplearon los elementos que se muestran en la figura 34.

| | |
|---|---|
| 2 x Módulos HC-SR04 | |
| 1 x chip integrado con conexión WiFi esp2866 |  |
| 1 x Placa perforada de baquelita 100x160mm |  |

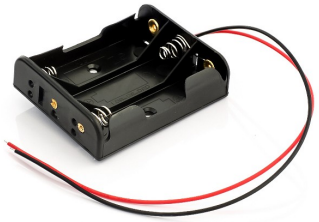
| | |
|---|---|
| 2 x Caja portapilas de 3 pilas AA |  |
| 6 x pila AA Alcalina 1.5V | |

*FIG. 34. Componentes electrónicos del circuito. Elaboración propia (2023).*[4]

[4] En esta tabla no están incluidos los conectores que fueron realizados con cable de cobre y también mediante soldaduras de estaño.

En la figura 35 se muestra de manera esquemática el armado del circuito empleado para la construcción de los sensores.

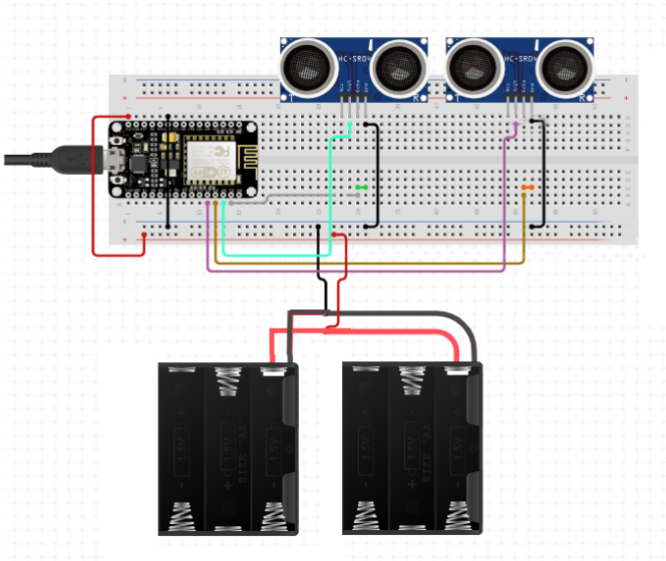


*FIG 35. Esquema de armado del circuito. Elaboración propia (2023).*

En la figura 36 se muestra un primer intento de armado cuya fuente de energía era una Powerbank de 10.000 Mah, que luego fue reemplazada por 6 pilas alcalinas AA.

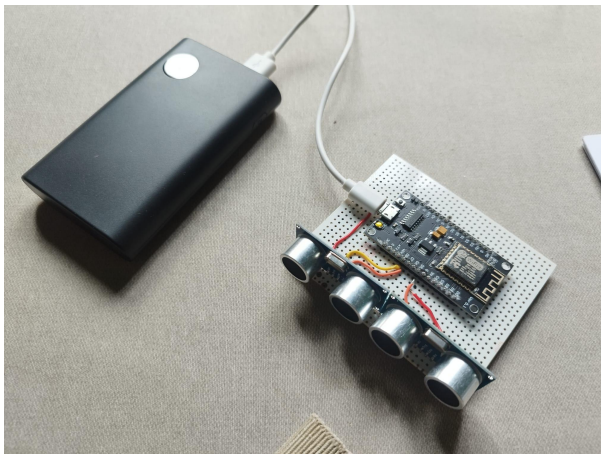


*FIG. 36. Circuito armado. Autor: R. Broquetas (2023).*

### 5.4.2. Programación del sensor

Para la programación del sensor se utilizó el software Arduino IDE 2.1.0. El lenguaje de programación utilizado por este software es el C++. Se programaron dos códigos diferentes uno para cada uno de los sensores, ya que se tenía que tener en cuenta la dirección de suma de personas dependiendo de la ubicación de los sensores.

Se utilizó la red de wifi del Museo, por lo que la programación incluye el nombre de la red y su contraseña[5]. Se programó el horario de comienzo de toma de datos y el de finalización. Para facilitar el código se estableció que el sensor se encendiera de lunes a domingo de 10:00 a 19:00 hs. Se determinó un ritmo de envío de mensajes cada 5 minutos (3000 ms), coincidentes con el tiempo de envío de información al servidor de los sensores existentes de humedad y temperatura.

Se estableció un margen de 20 cm de medición de distancia para evitar cualquier conteo falso por posibles rebotes involuntarios. Se estableció que se encendiera todos los días durante todo el año. Se programó para que enviara los datos recogidos a una planilla de Google Sheet que se actualiza automáticamente y puede ser consultada en cualquier momento. Al ser dos sensores se generaron 2 planillas separadas. Hay una tercera planilla que vincula las dos mencionadas, y es la que brinda los resultados finales.

Las planillas tienen en las columnas: Fecha; hora de ingreso; cantidad ingreso; cantidad egreso. Se programó para que los datos fueran suministrados de forma acumulativa y vuelvan a cero cuando una vez finalizado el día.

### 5.4.3. Construcción de la caja e instalación de los dispositivos

Para la elaboración de la caja se tuvo en cuenta las dimensiones de los diferentes dispositivos que conforman el circuito. Por un lado se encontraban los dos sensores HC-SR04, la placa ES2866, la base, el power bank y el cable conector (fig. 37). Se buscó

[5] El nombre de la red es “Visita Cultural”, y la contraseña “Catedral 2022”. Se trata de una red de acceso público para los visitantes.

un cable USB MICRO-C y USB-A cuyas cabezas estuvieran a 90º con el fin de reducir lo máximo posible la dimensión de la caja.

Se midieron los elementos y se representaron en un archivo .dwg. Con estas dimensiones del contenido, se diseñó la caja contenedora. Inicialmente se consideró hacerla de 3 piezas: una base sobre la cual se apoyaría el circuito, una tapa plana, que protegería el circuito, y sobre la que se apoyaría la batería, y una tapa que cubriera todo el dispositivo. Luego, para abaratar costes materiales y para reducir el tamaño final de la caja, se decidió prescindir de la plataforma intermedia.

Pensando en que la fuente de energía debería de ser cambiada cada vez que se agotara, tanto la tapa protectora como la base, deberían tener unas ranuras que permitieran cerrar la caja y abrirla cuando se necesitara.

Se decidió hacer la caja mediante impresora 3d con material PLA de diámetro 1.75 mm color blanco (fig. 38). La impresión en 3D tiene la ventaja de que se pueden obtener resultados con buenas terminaciones, buenas prestaciones y a un bajo coste.

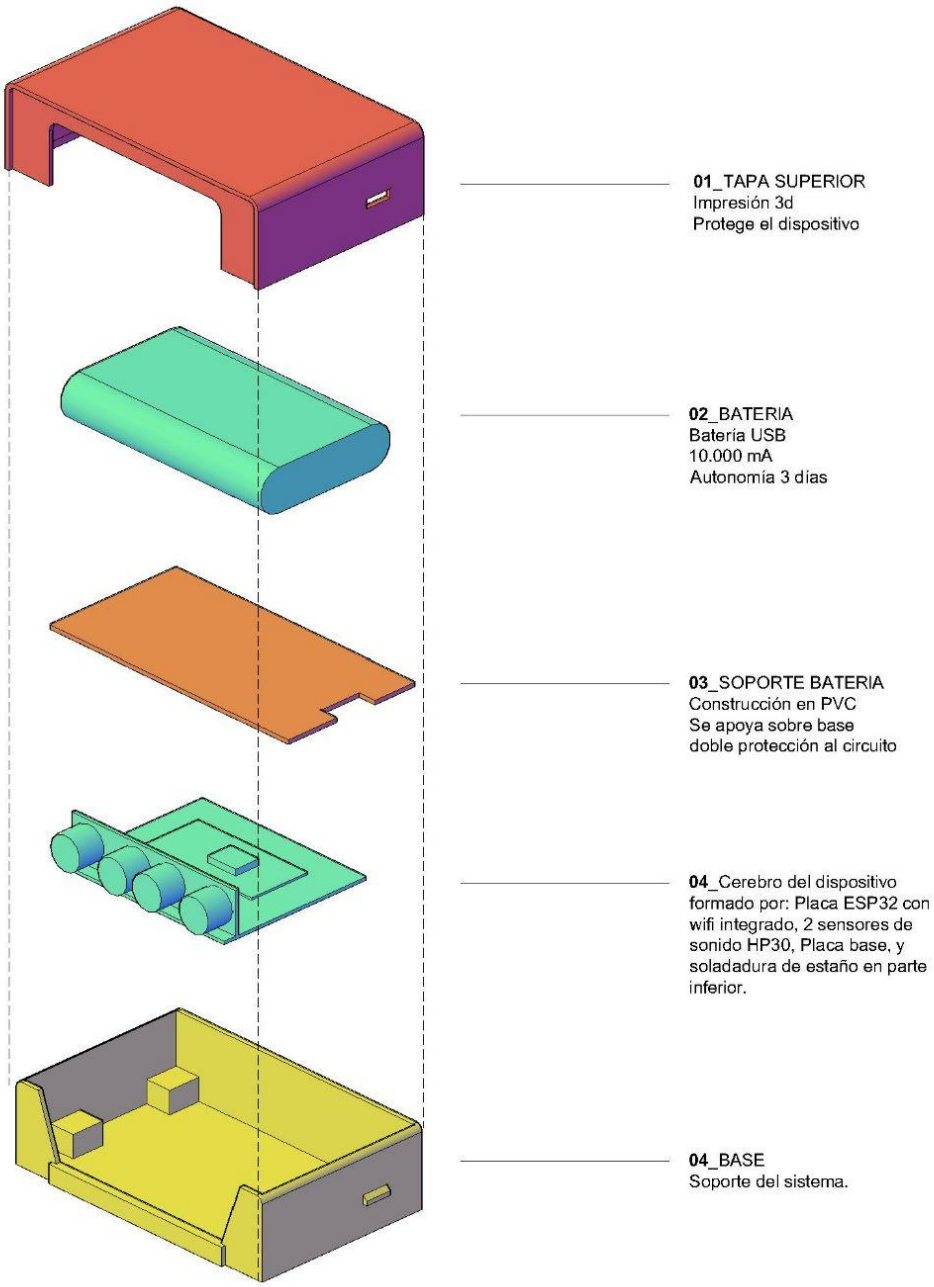



*FIG. 37. Esquema de diseño de la caja del sensor. Elaboración propia (2023).*

*FIG 38. Imagen de caja de sensor impresa con impresora 3d. Autor: R. Broquetas (2023).*

Para la instalación de los dispositivos tanto en el ingreso como la salida del Museo (fig. 39 y 40), se tuvo especial cuidado en no afectar a ningún elemento de la Catedral, por lo que se evitó cualquier tipo de perforación en los paramentos. Como ya mencionamos anteriormente también se tuvo el cuidado de que los dispositivos fueran autónomos desde el punto de vista de la alimentación energética con el objetivo de evitar cableados que entorpecieran el funcionamiento del Museo.

Para su soporte se utilizaron elementos presentes en el Museo, y fueron pedidos prestados dos postes separadores que comúnmente se utilizan para delimitar zonas y establecer distancias de protección entre las obras y los visitantes. Se trata de elementos con gran peso en la base lo que le evita el vuelco, y al estar presentes en el Museo no distorsionaban la imagen del espacio.

*FIG. 39 y 40. Fotografías de la salida e ingreso del Museo. Autor: R. Broquetas (2023).*

La base de la caja se adhirió sobre la parte superior de los postes mediante una cinta de adherencia acrílica de doble cara. Además la unión fue reforzada con dos ángulos metálicos de 3.00x3.00 cm dispuestos en forma de ménsula para soportar el lado más largo de la caja, que se adhirieron tanto al poste separador como a la base de la caja mediante la misma cinta doble cara. Luego de adherida la caja al poste, se procedió a insertar el sensor con su alimentación dentro de la caja, a cubrir la base y el sensor con la tapa protectora. Por último se colocaron los dos sensores en la entrada y la salida del Museo. El dispositivo tiene que mirar hacia a una superficie que se ubique a menos de 4,00 metros, pues es el alcance máximo de los distanciómetros. Por lo que la ubicación también tuvo que contemplar ese punto.

Se buscó ubicar ambos sensores en sitios que perjudicaran lo menos posible la circulación de los visitantes. Se consensuó con el director del Museo la ubicación de los postes y se dejaron en funcionamiento (fig. 41 a 45).

Se les solicitó a los vigilantes de sala que en el caso de tener que moverlos para la limpieza del lugar o por cualquier otro motivo, luego se deberían ubicar en la misma posición. En todo momento el personal se mostró dispuesto a ayudar, lo que facilitó la tarea.

*FIG. 41 a 45. Fotografías de la instalación de los sensores en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023)*

### 5.5. Datos de Humedad Relativa y Temperatura

El Museo cuenta hoy en día con 9 dispositivos de la marca Testo modelo Saveris 2, distribuidos en toda la planta del Museo (fig. 46).

Según la página web de la marca comercial, se trata de un dispositivo capaz de monitorizar la temperatura y humedad relativa en espacios. Están diseñados para ser utilizados en locales cerrados. La alimentación de energía se realiza mediante baterías que deben ser respuestas cada vez que se agotan. Los datos pueden ser registrados y enviados a la nube Testo a través de su WLAN. Estos son accesibles desde cualquier dispositivo electrónico como *tablet*, *smartphone*, o PC. Posee funciones de alarma a través de correo electrónico u opcionalmente SMS al sobrepasar los valores límite previamente establecidos (fig. 47).

Según la ficha técnica del producto, el rango de medición es de -30ºC a +50ºC con un error de medición de ±0,5ºC y una resolución de 0,1ºC. El rango de humedad medido por el dispositivo es de 0 a 100% HR, con un error de ±2% y una resolución de 0,1%HR.

*FIG. 46. Fotografía de sensor instalado en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023).*

*FIG. 47. Imagen del sensor testo Saveris 2, de la página oficial del fabricante www.testo.com.*

Estos 9 dispositivos se encuentran instalados en todas las salas de los niveles 1 y 2 del Museo. Están adheridos a los paramentos verticales y se encuentran a la vista. La altura de instalación es aproximadamente de 1,50 m en todos los casos, y se encuentran distribuidos a razón de un equipo por sala (fig. 48). No se encontraron sensores de humedad relativa y temperatura en el subsuelo del Museo.

Los datos de los sensores son administrados por el encargado del Museo, persona que tiene acceso a los mismos. Se lleva un control histórico de datos. El acuerdo es que esos datos serán suministrados por el Museo para ser analizados.

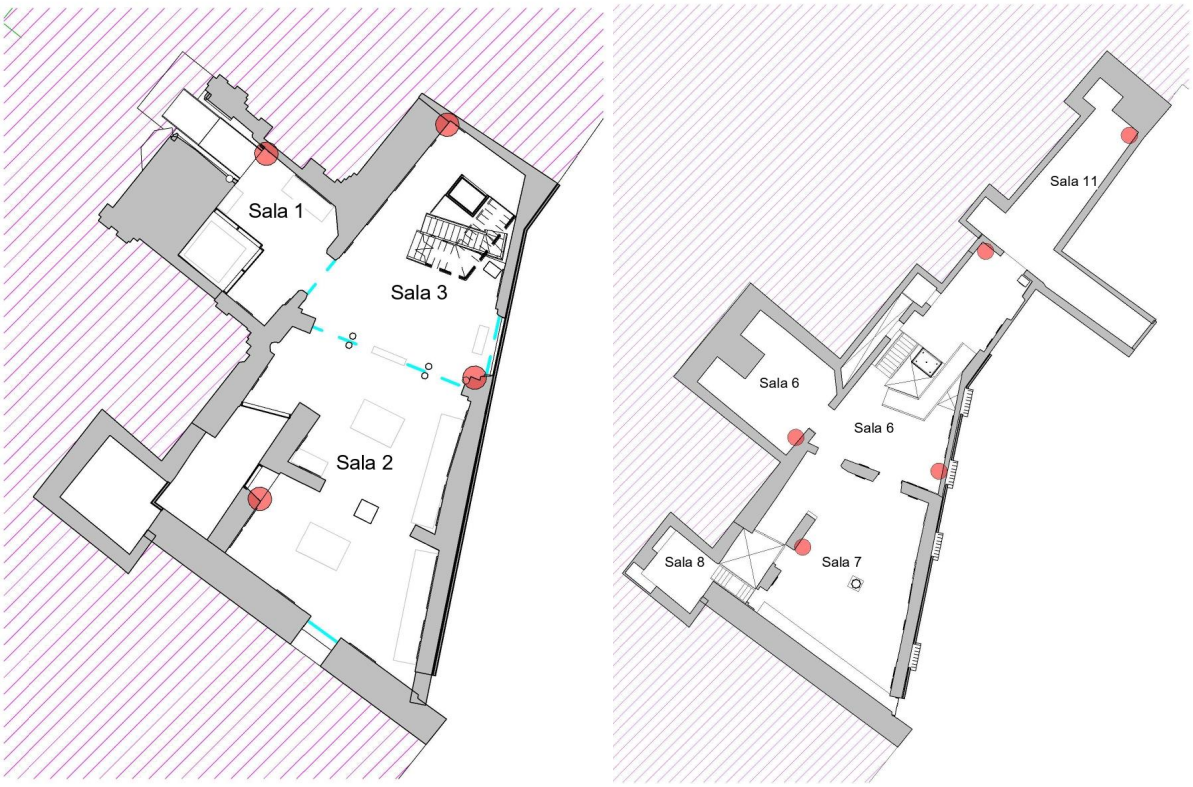



*FIG 48. Ubicación de los sensores de Temperatura y Humedad en Nivel 0 y Nivel 1 del Museo. Elaboración propia a partir del modelo HBIM.*

# 6. Resultados y Discusión

## 6.1. Resultados

### 6.1.1. Modelo HBIM

Se utilizó el software Autodesk Revit en la versión 2023 con licencia estudiantil para modelar el bien. El modelo HBIM fue realizado a partir de una nube de puntos proporcionada. Se realizó una volumetría esquemática utilizando las "fases de proyecto" de Revit, para representar la evolución constructiva de la Catedral (fig. 3) y se modeló con mayor nivel de detalle el espacio correspondiente al Museo.

Desde el punto de vista del modelado los edificios históricos presentan la dificultad de que sus paramentos verticales rara vez presentan sus caras paralelas, y tampoco se encuentran perfectamente aplomados, por lo que en la mayoría de los casos se recurrió a la generación de muros "modelados *in situ*" mediante extrusiones y masas. Los forjados y los falsos techos se modelaron mediante las familias correspondientes pues se trataba generalmente de superficies de nueva fábrica y por tanto presentaban mayor regularidad.

Los elementos de comunicación vertical como las escaleras y el ascensor también fueron modelados con familias convencionales, que se adaptaron a las dimensiones y materialidades de los elementos.

Se simplificó la geometría correspondiente al subsuelo por tratarse de una excavación muy irregular pero respetando su volumen, alturas, y elementos constructivos principales como la pasarela metálica. Estos criterios cumplieron con el fin de representar el espacio y a la vez poder interpretar correctamente datos de futuros sensores que puedan llegar a instalarse (fig. 49).

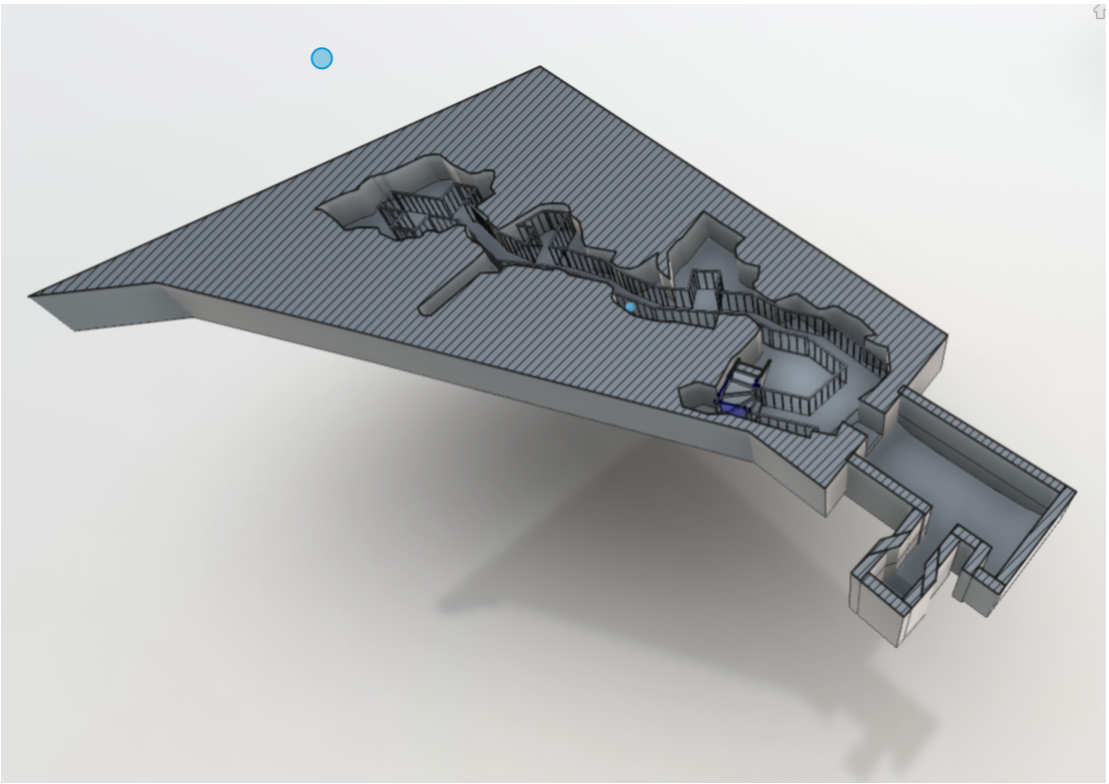


*FIG. 49. Modelo HBIM del Subsuelo. Elaboración propia.*

Tanto en la Planta Baja como en el Primer y Segundo nivel del Museo se modelaron todas las Salas, con sus respectivos paramentos, pavimentos, falsos techos, elementos de circulación, elementos portantes, y también se modeló la ubicación de la mayoría de las obras de arte expuestas al momento de la toma de la nube de puntos (fig. 50 y 51).

Las Salas fueron nombradas y numeradas mediante la creación de “Habitaciones” en Revit, que incorporaron datos de manera automática como volúmenes y superficies.

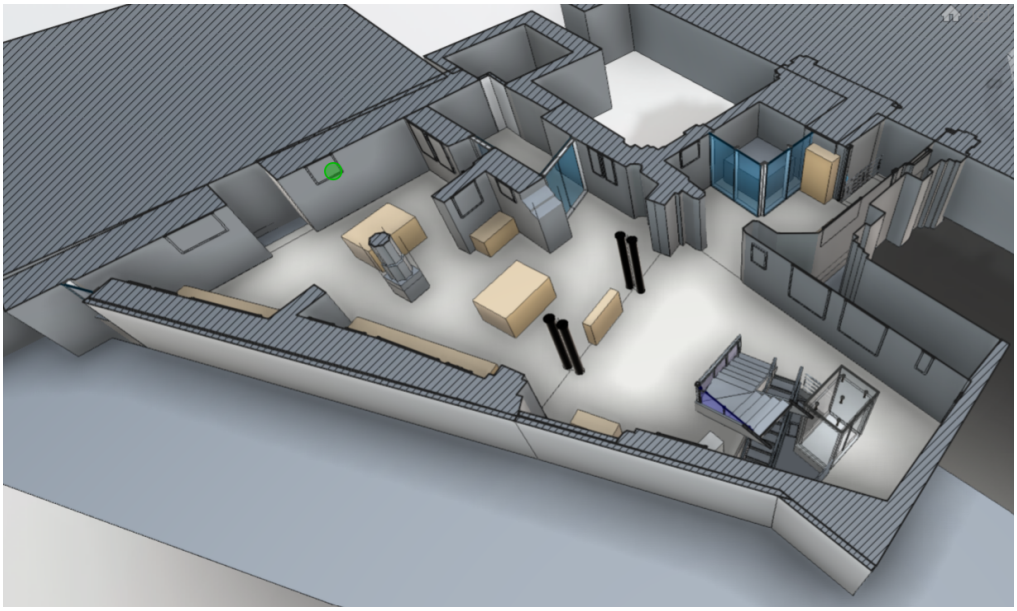


*FIG. 50. Modelo HBIM de la Planta Baja. Elaboración propia.*

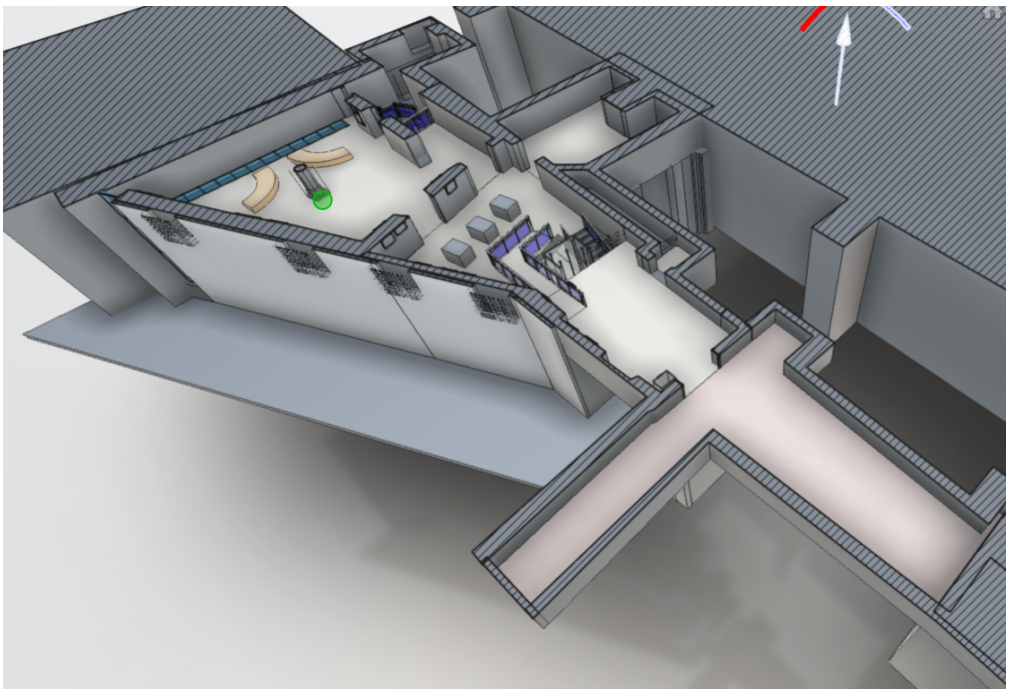


*FIG. 51. Modelo HBIM del Segundo Nivel. Elaboración propia.*

Se modelaron algunos elementos singulares como la columna entorchada, a los que se le incorporaron "parámetros de texto" con el fin de que el modelo contara con información de datos históricos, como ubicación, época de construcción, autor, y una bibliografía de consulta. Todo esto persiguiendo el fin de que el modelo pudiera servir como un repositorio de información vivo, actualizable y posible de ser consultado por los diversos agentes que intervienen en este bien patrimonial (fig. 52).

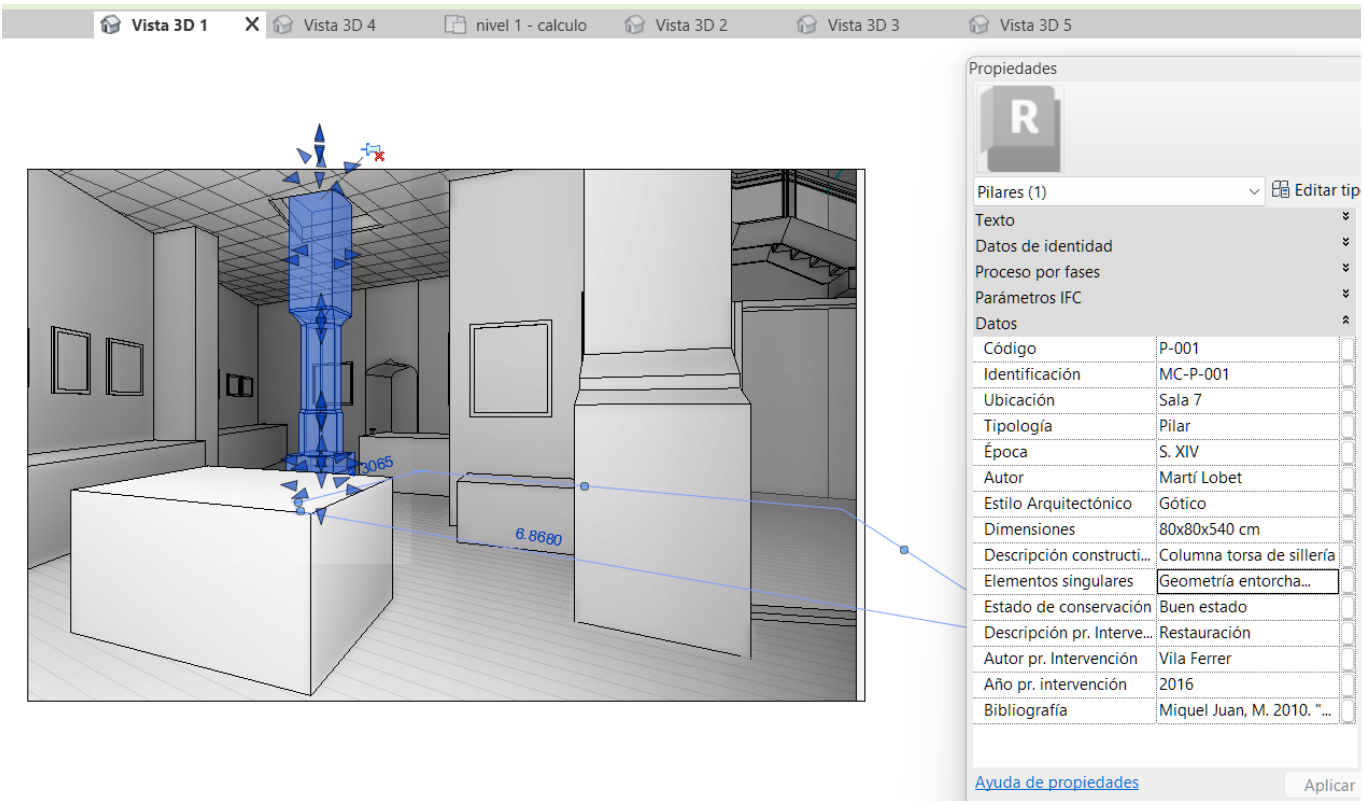



*FIG. 52. Incorporación de datos constructivos en elementos singulares. Elaboración propia.*

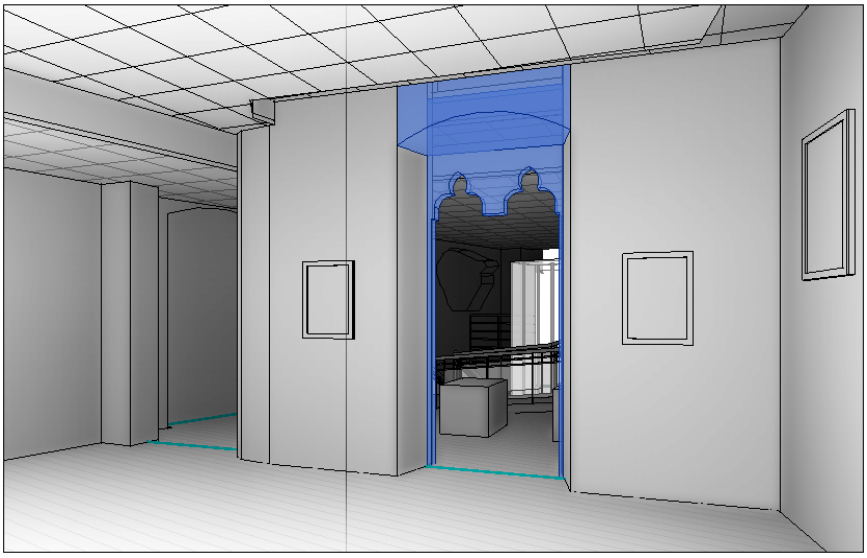


*FIG. 53. Modelado de elementos singulares. Elaboración propia.*

El modelo puede ser utilizado a futuro para diversos usos, y como documento del estado del espacio en un momento dado (fig. 54).

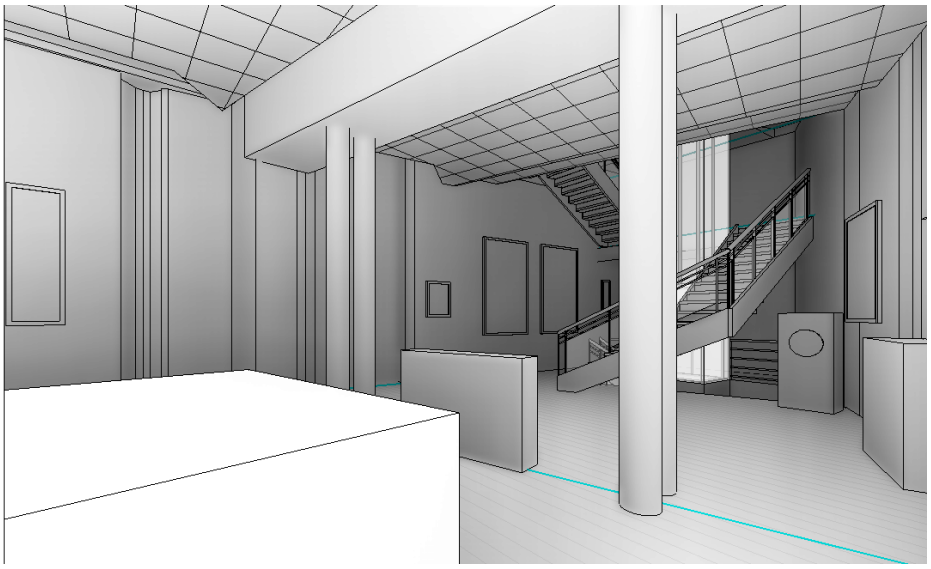


*FIG. 54. Modelado de elementos singulares. Elaboración propia.*

### 6.1.2. Resultado duración media de la visita

Se utilizó la tabla planteada en la metodología de trabajo para establecer la duración media de la visita en el Museo (fig. 33). El muestreo se realizó entre los días viernes 28 y sábado 29 de julio de 2023, la muestra total fue de 18 personas entre las 11 y las 15 horas. Los resultados pueden verse en la figura 55.

| | DIA 1 fecha: Viernes 28-07-2023 | | | DIA 2 fecha: sábado 29-07-2023 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | TOMA 1 (min) | TOMA 2 (min) | TOMA 3 (min) | TOMA 4 (min) | TOMA 5 (min) | TOMA 6 (min) |
| NIÑO (0-12) | 5 | 16 | 8 | 18 | 10 | 10 |
| JOVEN (12-30) | 25 | 20 | 21 | 16 | 18 | 20 |
| ADULTO (+30) | 10 | 15 | 12 | 15 | 22 | 18 |

| | |
|---|---|
| Promedio (min) | 15,5 |

*FIG. 55. Tabla de resultados de la duración media de la visita. Elaboración propia.*

Según los datos obtenidos la duración media de la visita en el Museo es de 15 minutos 30 segundos. No se observan grandes diferencias entre los distintos grupos etarios.

### 6.1.3. Resultado Capacidad de Carga Recreativa (CCR)

Al tratarse de un museo de dimensiones relativamente pequeñas y espacios de características diversas (circulaciones, espacios confinados, salas de diferentes dimensiones y configuración), se decidió estudiar la CCR *in situ* sala por sala (fig. 56).

*FIG. 56. Trabajo de campo en el Museo. Autora: M.J. Viñals (2023).*

Como se mencionó en el Capítulo 4.3, la planta del Subsuelo tiene características de acceso y circulación interna que hacen que la CCR sea reducida. La Sala X cuenta con un pavimento con pendientes pronunciadas hacia el centro, y se trata además de un espacio confinado. Estas características hacen que el número de visitantes por m² deba de tener un estándar especial menor que el 1.5 visitantes/m² propuesto en la tabla de la figura 25 para espacios cerrados. La pasarela metálica que recorre el resto del Subsuelo no tiene salida, y cuenta con un ancho promedio de 0,90 m, lo que hace que se dificulte la circulación de dos personas en direcciones opuestas. Para resolver la dificultad de circulaciones y aprovechando los diferentes puntos de observación de atractivos que ofrece el recorrido se han generado cuatro espacios de intercambio (figura 57).

Se clasificó internamente la Planta Baja en dos tipos de espacios, la Superficie Útil Recreativa (SUR), y la Superficie No Útil para la Recreación (SNUR). La SUR se determinó trazando en la planta una línea paralela de distancia mínima hacia la obra de arte expuesta considerando las dimensiones de la misma y una cuenca visual con ángulo de visión de 120º. Así pues, la distancia desde el punto de observación varía entre 1,20 y 2,00 m. Se consideró, a partir de esta distancia de la obra de arte, la posibilidad de una doble fila de visitantes en la Sala II, ya que los cuadros están dispuestos a tal altura que permiten que los observadores en la segunda fila puedan apreciar las obras mientras la primera fila puede ver los libros colocados en unos expositores bajos (figura 58).

Tomando el mismo criterio que la Planta Baja, en el Primer Piso se dividió la planta en SUR y SNUR. Al igual que el Subsuelo la Sala VIII de la Antigua Torre solamente es accesible mediante escaleras (figura 59).

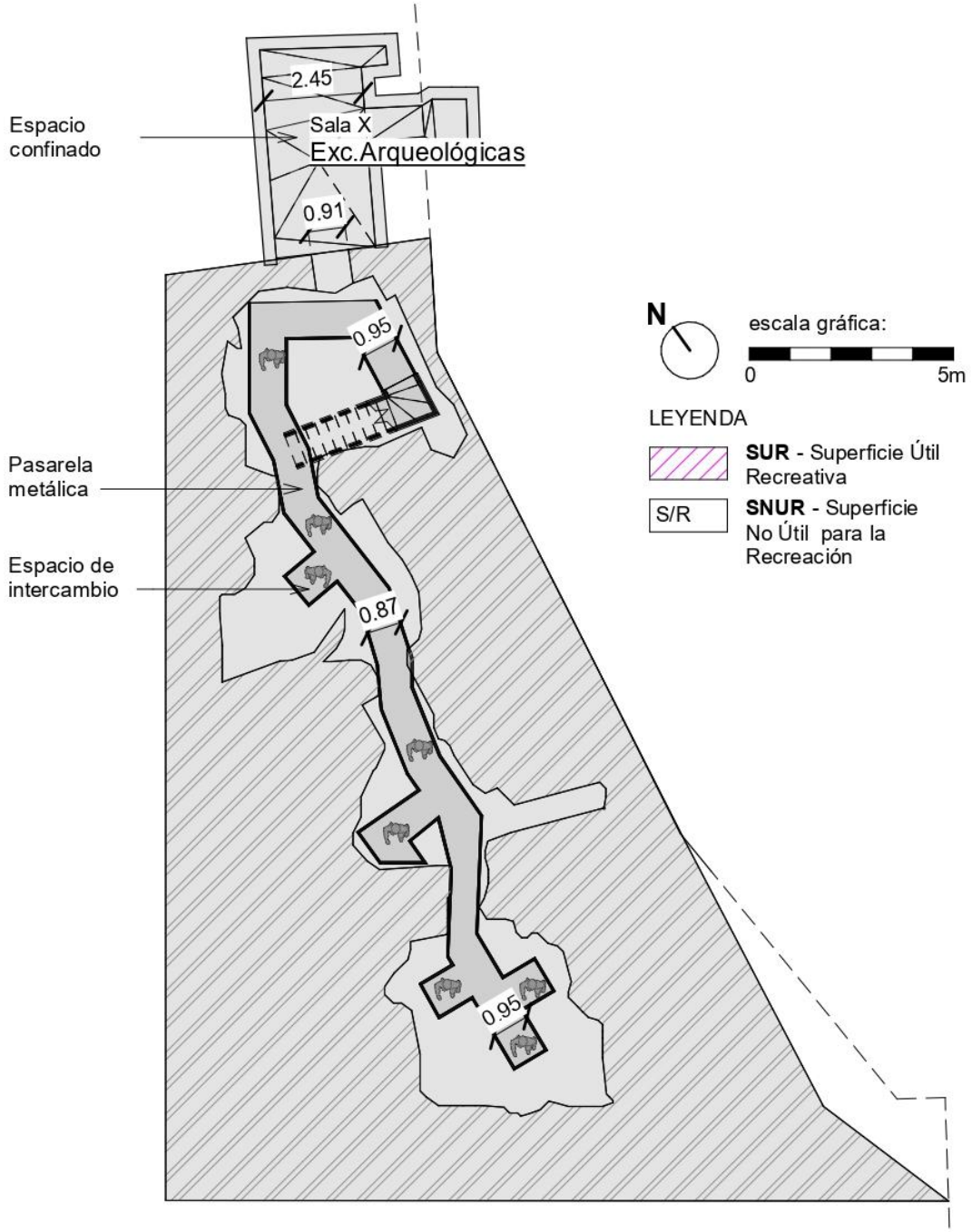



*FIG. 57. Subsuelo del Museo. Cálculo CCR. Elaboración propia.*

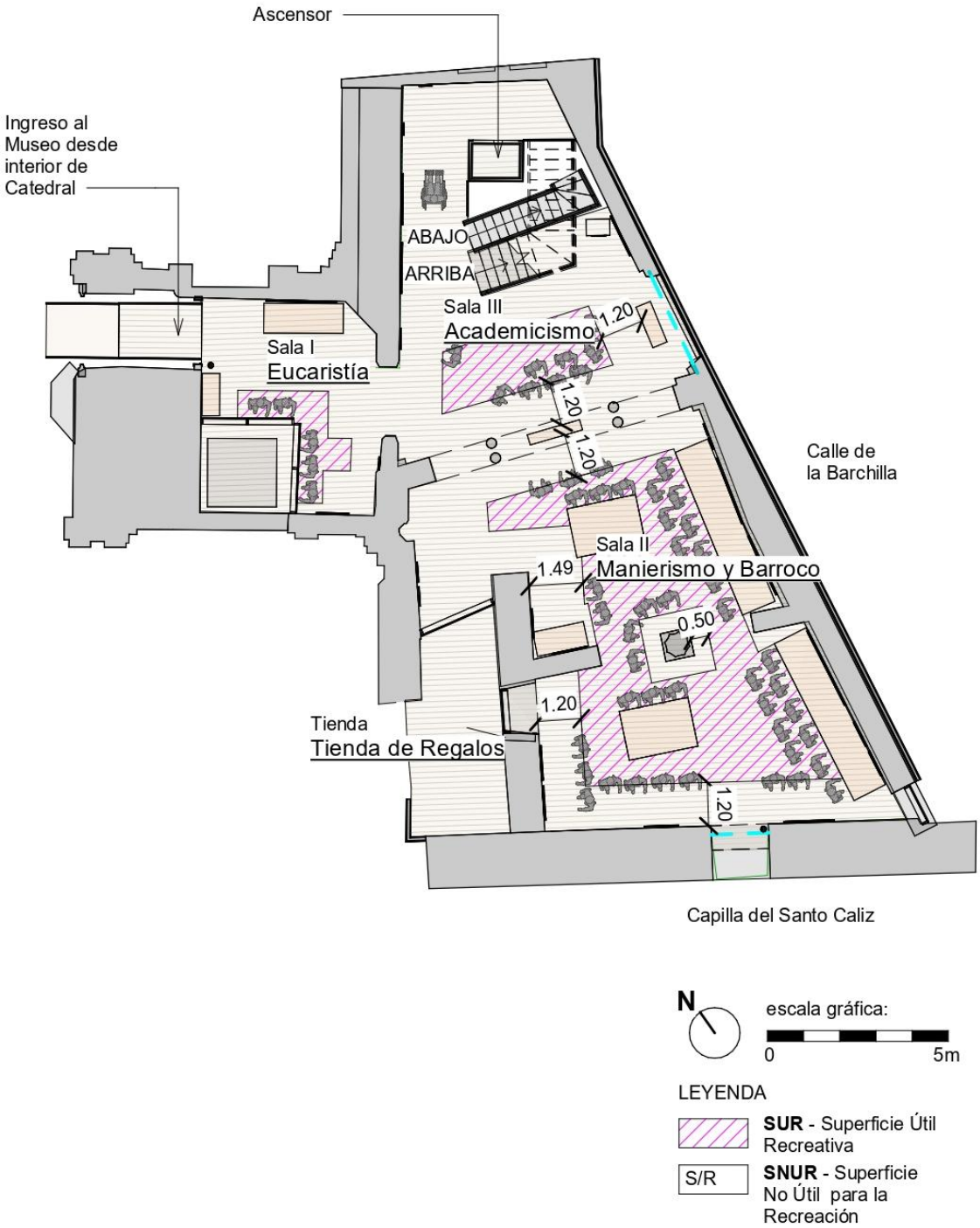



*FIG. 58. Planta Baja del Museo. Cálculo CCR. Elaboración propia.*

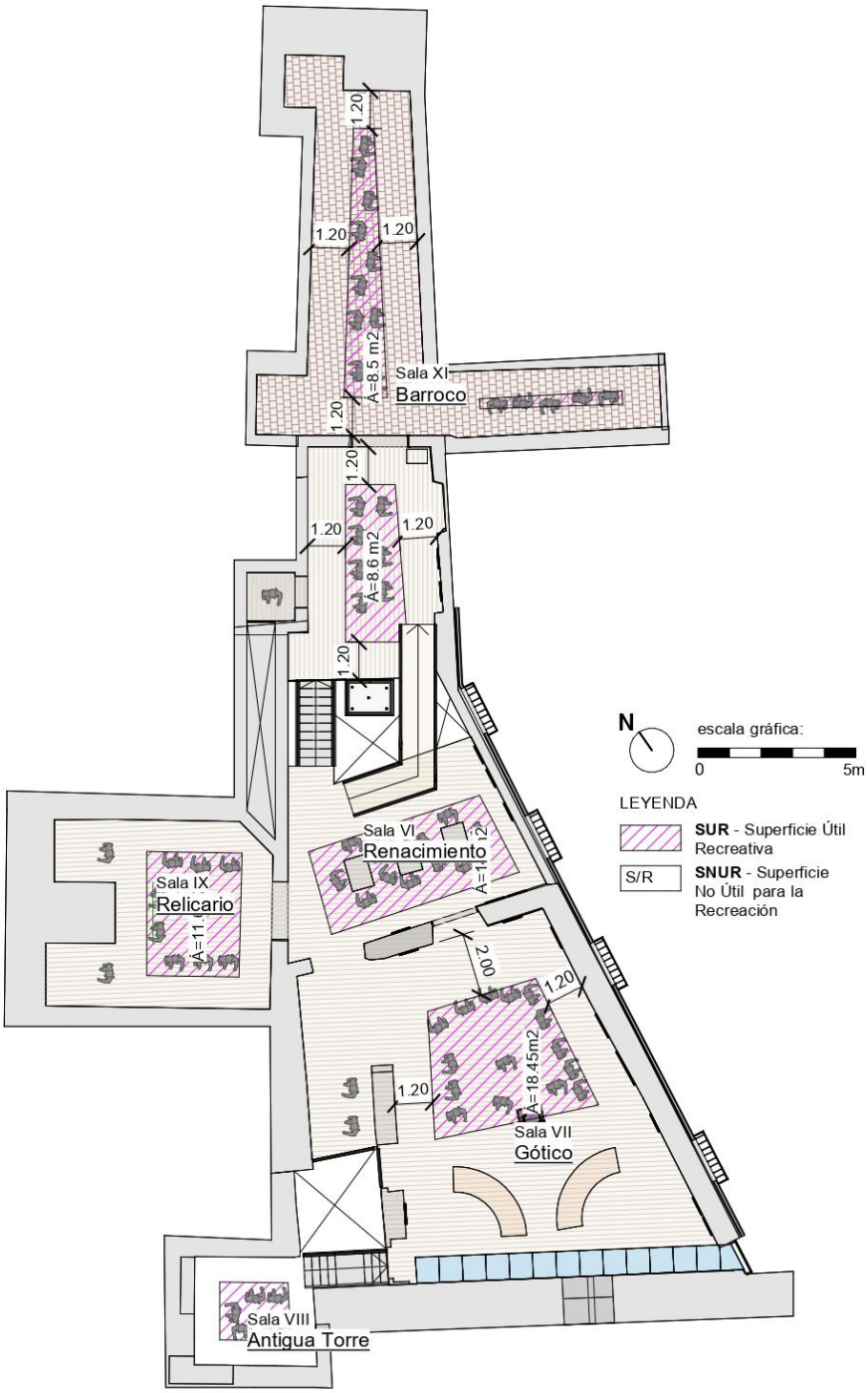



*FIG. 59. Planta Segunda del Museo. Cálculo CCR. Elaboración propia.*

En la figura 60 se presentan los resultados del estudio de cada una de las salas del Museo.

| Nº Sala | Nombre de Sala | Sup. Total (m²) | Ocupación (un) |
|---|---|---|---|
| Planta Subsuelo | | | |
| X | Excavaciones Arqueológicas | 85 | 12 |
| TOTAL | | 85 | 12 |
| Planta Baja | | | |
| I | Eucaristía | 23 | 4 |
| II | Manierismo y Barroco | 95 | 43 |
| III | Academicismo | 63 | 10 |
| | Tienda | 15 | 4 |
| TOTAL | | 196 | 61 |
| Planta Primera | | | |
| IV | Renacimiento | 7 | 0 |
| | Sanitarios | - | 4 |
| TOTAL | | 7 | 4 |
| Planta Segunda | | | |
| V | Renacimiento | 41 | 8 |
| VI | Renacimiento | 54 | 12 |
| VII | Gótico | 103 | 17 |
| VIII | Antigua Torre | 14 | 5 |
| IX | Relicario | 37 | 10 |
| XI | Barroco | 58 | 15 |
| TOTAL | | 307 | 67 |
| TOTAL | | 595 | 140 |

*FIG. 60. Tabla de Cálculo CCR. Elaboración propia.*

Según el estudio la Capacidad de Carga Recreativa del Museo de la Catedral de València, se puede decir que, tras el análisis espacial y la asignación de un espacio

individual para cada visitante según el análisis de proxémica, el Museo puede albergar simultáneamente a 140 personas.

### 6.1.4. Resultado Visitas diarias a la Catedral

Según los datos suministrados por la Catedral, el número total de visitantes se corresponde con los datos de la figura 61.

| Fecha | Visitas totales |
|---|---|
| Miércoles 9 de Agosto de 2023 | 1.546 |
| Jueves 10 de Agosto de 2023 | 1.932 |
| Viernes 11 de agosto de 2023 | 1.876 |
| Domingo 13 de agosto de 2023 | 750 |
| Lunes 14 de agosto de 2023 | 1.448 |

*FIG. 61. Tabla de visitas totales a la Catedral. Elaboración propia.*

### 6.1.5. Resultado flujo de visitantes

En primer lugar, reseñar que la puesta en marcha de los sensores fue un reto ya que se abordó desde una perspectiva sencilla con medios tecnológicos limitados. No obstante, se quería demostrar que el sistema funcionaba adecuadamente y que una aproximación de este estudio al análisis de los visitantes en un museo como este es viable.

Se presentan como ejemplo los resultados de la toma de datos de los días que los sensores han estado en funcionamiento como testimonio de su eficacia.

A partir de la medición de los sensores diseñados para este estudio, se representa en gráficos el flujo de ocupación de visitantes del Museo de cinco días de muestreo.

En la figura 62, se presenta el gráfico correspondiente a la ocupación dentro del Museo del día miércoles 9 de agosto de 2023. Se puede ver que el pico más grande se da al mediodía, con un número máximo de ocupantes simultáneos de 110 personas. Luego la tendencia es a la baja, dándose un segundo pico de 80 personas casi a las 17:00 hs. Después del segundo pico la ocupación cae abruptamente hasta llegar a la hora de cierre -18:30 hs.- en donde la ocupación vuelve a ser 0.

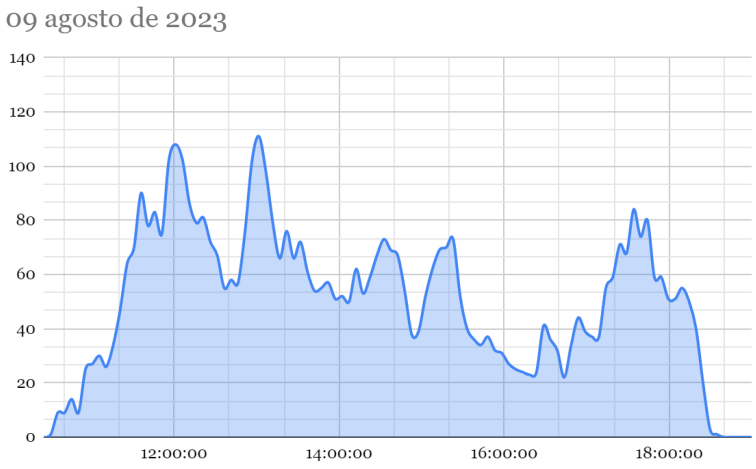



*FIG. 62. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 09-08-2023. Elaboración propia.*

El día jueves 10 de agosto de 2023, se dio el pico de ocupación mayor de todas las muestras, con un poco más de 120 personas en simultáneo a las 13:00 hs (fig. 63). Luego la tendencia es descendente y sólo vuelve a remontar con un pequeño pico de ocupación de poco más de 70 personas a las 17:00 hs., tras el cual desciende la visita hasta el 0 por ser la hora de cierre.

*FIG. 63. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 10-08-2023. Elaboración propia.*

El viernes 11 de agosto de 2023 se da un pico de aproximadamente 100 personas en simultáneo cerca de las 12:00 hs. (fig. 64). La tendencia luego desciende, como se observa en el gráfico, hasta llegar a ocupación 0 a la hora de cierre del Museo. Este es el día cuya ocupación que tras el mediodía fue menor, con variaciones que en pocos momentos superaron las 40 personas.

*FIG.64. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 11-08-2023. Elaboración propia.*

El domingo 13 de agosto de 2023, encontramos dos diferencias fundamentales con respecto a los otros días. La primera es que la ocupación es 0 hasta casi las 15:00 hs, y eso tiene que ver con que el día domingo las puertas de la visita cultural abren a las 14:00 hs, a diferencia del resto de días de la semana que la apertura es a las 10:30 hs. Otra diferencia es que la máxima ocupación es la más baja de todos los días que se han tomado como muestra, no llegando a 90 personas de ocupación simultánea (fig. 65).

*FIG. 65. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 13-08-2023. Elaboración propia.*

El lunes 14 de agosto, el pico de mayor número de afluencia de público se dio nuevamente al mediodía 14:00hs, con una ocupación simultánea de casi 120 personas (fig. 66).

*FIG. 66. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 13-08-2023. Elaboración propia.*

Se muestran en la tabla de la figura 66 los datos obtenidos los visitantes totales al Museo en días testigo son:

| Fecha | Visitas al Museo |
|---|---|
| Miércoles 9 de Agosto de 2023 | 1.726 |
| Jueves 10 de Agosto de 2023 | 1.879 |
| Viernes 11 de agosto de 2023 | 1.179 |
| Domingo 13 de agosto de 2023 | 813 |
| Lunes 14 de agosto de 2023 | 1.716 |

*FIG. 67. Tabla de visitas totales al Museo. Elaboración propia.*

### 6.1.6. Resultado Humedad Relativa y Temperatura interior

Lamentablemente los sensores de Temperatura y Humedad Relativa del Museo estaban en tareas de mantenimiento en el período que se hizo la prueba y no se dispuso de datos.

## 6.2. Evaluación de resultados y Discusión

### 6.2.1. Comparación del número de visitantes a la Catedral con el número de visitantes al Museo

En la figura 68 se muestra un gráfico comparativo de los visitantes que habiendo ingresado a la Catedral, también ingresaron a las instalaciones del Museo.

Es importante señalar que los ingresos al Museo fueron contabilizados por un sensor que mide la cantidad de personas que ingresaron al espacio, y que este número no

distingue entre personal de la Catedral y visitantes, y tampoco distingue si un mismo visitante ingresó y salió varias veces del recinto.

También es importante señalar que dentro del recinto del Museo es donde se ubican los sanitarios que sirven a toda la Catedral, por lo que cabe esperar que algunos visitantes ingresen al Museo solamente con el objetivo de acudir al sanitario.

Dicho todo esto, en la figura 67 se muestra una tabla comparativa con los resultados entre visitas a la Catedral e ingreso de personas al Museo. Se puede observar que los números son similares en todos los registros menos el día 11 de agosto, en donde ingresaron un 59% más de visitantes que los que finalmente llegaron a ingresar al Museo.

De todas maneras con los resultados a la vista se puede concluir que la mayoría de las personas que ingresan a la visita cultural de la Catedral, también ingresan al Museo.

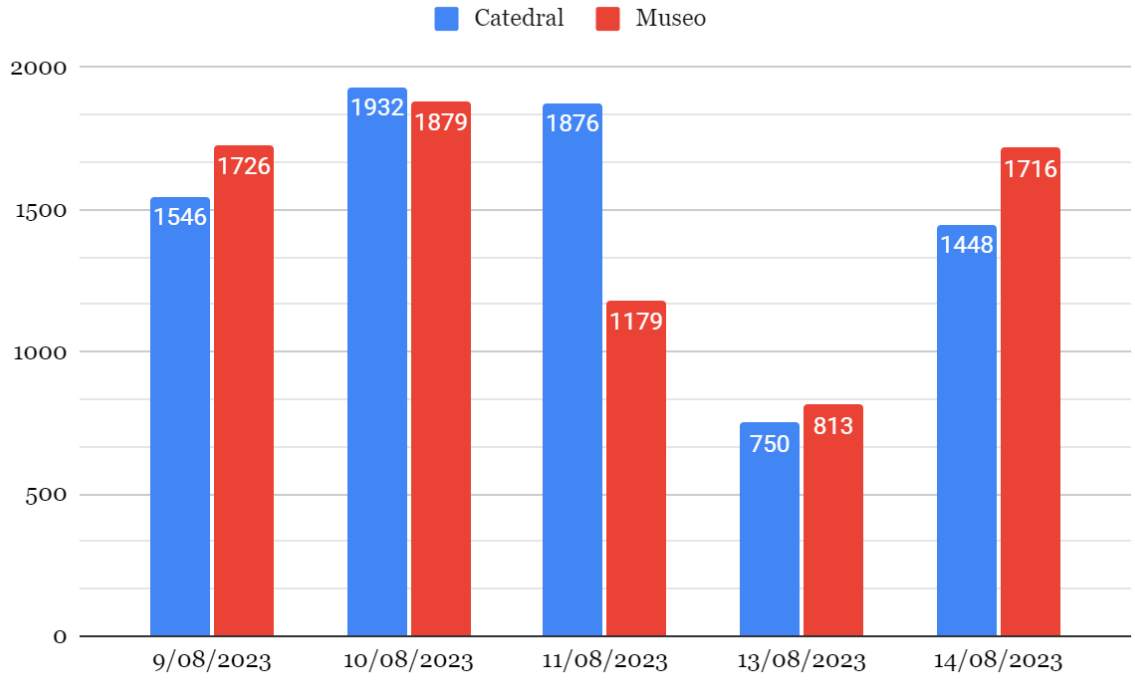



*FIG. 68. Tabla comparativa de visitas totales a la Catedral y visitas al Museo. Elaboración propia.*

### 6.2.2. Variación de los niveles de HR y Temperatura en relación al número de visitantes

Como señalamos en el punto 6.1.5 de este trabajo no se dispuso de datos de Temperatura y Humedad Relativa del Museo por lo que no pudo ser posible realizar la evaluación.

De todas maneras podemos afirmar que fácilmente se podría lograr una comparación mediante gráficos, la incidencia que tiene el aumento de personas que se encuentran en simultáneo en el Museo con las variaciones en los índices de Humedad Relativa y Temperatura.

Esta comparación de datos se podría utilizar para establecer nuevos máximos de visitantes que puedan estar visitando simultáneamente el Museo. En conjunto con los medidores de personas se podrían disponer alarmas que estén vinculadas con los móviles de los cuidadores de sala cuando se sobrepasan esos límites previamente establecidos para así limitar el acceso al recinto.

Estos datos podrían ser utilizados también para el diseño y puesta en funcionamiento de un nuevo sistema de deshumidificación y HVAC (*Heating*, calefacción; *Ventilating*, ventilación; *Air Conditioned*, aire acondicionado) en el caso de que los resultados arrojen que es necesario.

### 6.2.3. Diagnóstico de la calidad del flujo de visitantes y comparación con su CCR

Los visitantes que acuden simultáneamente al Museo no superaron en ninguna de las mediciones el CCR de 140 personas. Los picos más altos se producen pasado el mediodía. En el 80% de los casos el pico de personas es de 80 visitantes simultáneos, y un 20% con 100 visitantes en simultáneo.

## 7. Conclusiones

Como reflexiones finales, se puede decir que este Trabajo de Final de Máster ha contribuido a demostrar que con recursos tecnológicos acotados es posible mejorar la gestión de museos y de cualquier espacio patrimonial de la envergadura del Museo de la Catedral de València.

Mediante el uso de tecnologías de bajo coste casi cualquier institución puede tener las herramientas para tomar decisiones que redunden en una mejor conservación del patrimonio cultural y artístico y en el confort de los visitantes.

Mediciones regulares sobre parámetros básicos como la temperatura y la humedad relativa, y sobre el flujo de visitantes pueden ser obtenidos y consultados por los gestores de manera sencilla y amigable en tiempo real en casi cualquier dispositivo electrónico ya que la información está alojada en la nube.

Esta información puede ser utilizada tanto para generar un modelo predictivo como para poder actuar en un momento dado si se sobrepasan ciertos parámetros máximos previamente establecidos.

En relación a los resultados obtenidos concretamente para el Museo de Catedral, es importante señalar que por primera vez se ha podido aportar un modelo en 3 dimensiones del recinto del Museo basado en una nube de puntos obtenida mediante un scanner láser.

Se ha determinado además que el Museo con su configuración actual tiene una Capacidad de Carga Recreativa de 140 personas en simultáneo.

Se ha podido también verificar mediante los sensores contadores de personas, que el número de CCR no se suele alcanzar en un día convencional de visita. Debido a esta verificación se puede decir que actualmente la visita se realiza en condiciones de confort.

Como contrapartida es importante reseñar que la distribución espacial del Museo es mejorable, ya que en el estudio de CCR se observó que existe una gran saturación de obras expuestas para las dimensiones que tiene el Museo y que cada sala tiene una CCR diferente. Si bien se considera que el número de elementos expuestos sobrepasa los números razonables, se compensa con que el número de visitantes no llega a su máximo posible, generando un equilibrio delicado.

Se ha constatado además que es necesario más espacio de tránsito, considerando especialmente las cuestiones de accesibilidad. Muchas veces las obras necesitarían una distancia de protección mayor para poder ser apreciadas, debido a su gran tamaño y también para garantizar su integridad.

Vale destacar que el Museo cuenta con un valor arqueológico único dentro del espacio en la Catedral, ya que actualmente es solo aquí donde se pueden ver los fundamentos sobre los que se construyó el edificio que vemos hoy.

No tenemos constancia de la existencia de otra excavación arqueológica de esta envergadura en la ciudad de València que haya sido escaneada mediante tecnología de Scanner 3d y cuya nube de puntos haya servido como base para modelar los espacios en un entorno BIM y para evaluar la Capacidad de Carga Recreativa. De cualquier manera, al tratarse de un espacio confinado, presenta las mayores restricciones para la visita pública como se ha observado en este trabajo.

Para finalizar se podría considerar que con los conocimientos adquiridos durante el Máster de Conservación del Patrimonio Arquitectónico de la Universitat Politècnica de València, se pueden analizar, diagnosticar y aportar soluciones a cuestiones técnicas relacionadas con la gestión del patrimonio y de los visitantes incluso de bienes de la envergadura e importancia como el Museo de la Catedral de València.

## 8. Posibles líneas futuras de investigación

Como futuras líneas de investigación, se han resumido aquellos aspectos que resultaron ser potencialmente interesantes para desarrollar en trabajos complementarios, ya que su alcance escapa a los inicialmente planificados.

Sería interesante incorporar al Museo y su gemelo digital existente, sensores para monitorizar las condiciones de iluminación del mismo Museo en tiempo real, que permitan regular el sistema existente tanto para mejorar las condiciones de conservación de las obras expuestas como también para poder consumir estrictamente la energía eléctrica necesaria, ayudando al Museo a reducir su huella ecológica.

Sería una interesante línea de investigación además el uso del modelo existente para proponer una visita virtual del Museo de la Catedral.

Se podrían incorporar sensores que tengan que ver con la monitorización y cuidado del edificio, como ser fisurómetros digitales, o sensores de vibraciones.

Por último, al no haberse podido comprobar la incidencia de los visitantes en los valores de HR y Temperatura del Museo por falta de datos, una línea futura de investigación podría ser volver a realizar la evaluación contando con toda la información.

# 9. Bibliografía

Alvarez Coll, J., Artell Moreno, M., Grado Guerrero, D. y Tello Carrascal, V. 2020. "Sistema de control de aforo en espacios cerrados". Trabajo de Fin de Grado. Universidad Complutense de Madrid.

Antonopoulou, S. y Bryan, P. 2017. "BIM for Heritage: Developing a historic building information model". Editorial Historic England.

Berenguer Llopis, V y de Sales Ferri Chulio, A. 2001. "La Catedral de València en 1936". Imprenta de Luis Palacios. 3ª Edición, aumentada. Sueca, España.

Berenguer Subils, M. J. y Martí Solé, M. J. 2004. "NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire". Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales e Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.

Castellano-Román, M., y Pinto-Puerto, F. 2019. "Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)". *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*.

Cortes-Meseguer, L. 2014. ¨La construcción del proyecto neoclásico de la Catedral de València". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de València.

Dittrich, F., de Olivera, L., Britto, A. y Koerich, A. 2017. "People Counting in Crowded and Outdoor Scenes using a Hybrid Multi-Camera Approach". arXiv:1704.00326 [cs.CV]. Accedido en Julio 2023. https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.00326

Dore, C. y Murphy, M. 2012. “Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites”. 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: “Virtual Systems in the Information Society”, Milan. IEEE.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., y Liston, K. 2011. “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors”. Editorial John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, Estados Unidos.

García-Valldecabres, J. L., López-González, M. C. y Cortés Meseguer, L. 2020. "Definition of a Protocol for Information Management and the Creation of the HBIM Model". *Graphical heritage,* nº 1, 176 – 188. Springer.

García-Valldecabres, J. L.; López-González, M. C; Cortes-Meseguer, L. 2021. "La conservación preventiva del patrimonio cultural. El estado de la cuestión en la adaptación a la metodología BIM". En Congreso Internacional BIM EUBIM 2021, 1 de octubre de 2021. València, España. Editorial Universitat Politècnica de València.

Hernández, F. J. 2016. “La gran pedra blava”. *Levante, el mercantil valenciano*. https://www.levante-emv.com/valencia/2016/04/03/gran-pedra-blava-12433860.html. Fecha de consulta Julio 2023.

Jordán Palomar, I. 2019. "Protocol to manage heritage building interventions using Heritage Building Information Modelling (HBIM)”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de València.

Khoenkaw, P. y Pramokchon, P. 2020. "Bi-directional Portable Automatic People Counting Using A Single Ultrasonic Range Finder”. Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON), Pattaya, Thailand, 2020, pp. 34-37.

Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B. y Kao, H. A. 2013. “Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment”. *Manufacturing Letters*, 1, (1), pp. 38-41.

Lucas-Vaquero, M. Lucas Borja, A., Castilla Pascual, F. J. 2022. “Interacción entre BIM y sensores de bajo coste para el control de confort ambiental en edificación”. En Convención Internacional de la Arquitectura Técnica CONTART, 12 y 13 de mayo de 2022. Toledo, España.

Michalski, S. 2013. “Climate Guidelines for Heritage Collections: How We Got Here, and Where We Are Today”. Actas del “Summit on the Museum Preservation Environment” del Smithsonian Institution. pp. 11-15. Fecha: 5 de marzo de 2013. National Museum of the American Indian, Washington D. C., Estados Unidos.

Miquel Juan, M. 2010. "Martí Lobet en la Catedral de València (1417-1439). La renovación del lenguaje gótico valenciano", Historia de la Ciudad, VI. Proyecto y Complejidad, Colegio Oficial de Arquitectos de València, València, pp. 103- 126.

Moril Valle, R. 2008. “La gestión del patrimonio artístico de la Iglesia. Los museos y colecciones museográficas de la Diócesis de València”. Universitat de València. Servei de Publicacions.

Orrite-Uruñuela, C. y Vicente-Dueñas, D. 2018. "Counting People by Infrared Depth Sensors". 15º IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), Auckland, New Zealand, 2018, pp. 1-6.

Palao Gil, J. 1993. “Patrimonio eclesiástico y amortización en València: La Catedral y la parroquia de Sant Joan del Mercat (siglo XVIII)”. Ajuntament de València. València, España.

Pastor, L. (s.f.). “Unidades de Medida” (archivo pdf). Recuperado del sitio web https://luispastor.es/compartiendo/pdf/unidades-de-medida-by-luis-pastor.pdf. Fecha de consulta julio de 2023.

Salvador García, E. 2020. "Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de València.

Sanchis Sivera, J. 1909. “La Catedral de València: guía histórica y artística”. Imprenta de Francisco Vives Mora. València, España.

Sanchis Sivera, J. 1933. “Arquitectos y escultores de la Catedral de València”, *Archivo de Arte Valenciano*, nº 19, pp. 3-24. Real Academia de Bellas Artes de San Carlos.

M.J. Viñals; M. Mayor; I. Martínez-Sanchis; L. Teruel; P. Alonso-Monasterio y M. Morant (2017): “Turismo sostenible y Patrimonio. Herramientas para la puesta en valor y la planificación”. Ed. Universitat Politècnica de València, pp. 189.

Viñals, M. J. y López-González, C. 2022. “La interpretación del patrimonio como transmisora de los valores de los monumentos religiosos vivos. Propuesta de aplicación a la Catedral de València (España)”. *Cuadernos de Turismo*, nº 49, pp. 315-341.

Vila Ferrer, S. 2017. “Intervenciones arquitectónicas en la Catedral durante los siglos XX y XXI - Conferencia de D. Salvador Vila Ferrer. Arquitecto conservador de la Catedral de València”. Real Academia de Bellas Artes de San Carlos. https://www.youtube.com/watch?v=j9awdCV1bkQ&ab_channel=RealAcademiadeBellasArtesdeSanCarlosU . Fecha de consulta julio de 2023.

## 10. Anexos

En la figura 69 se muestra una captura de pantalla de la incorporación de los sensores de Temperatura y Humedad en la plataforma Autodesk Tandem. Los registros corresponden con los datos obtenidos por el proyecto "Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino (PID2020-119088RB-I00)". Los sensores que monitorean la Catedral están ubicados en la Sala Capitular y el Altar Mayor. Además de los gráficos en la parte inferior, los valores pueden ser visualizados mediante los tonos de color con que se colorean de forma automática los espacios asignados.

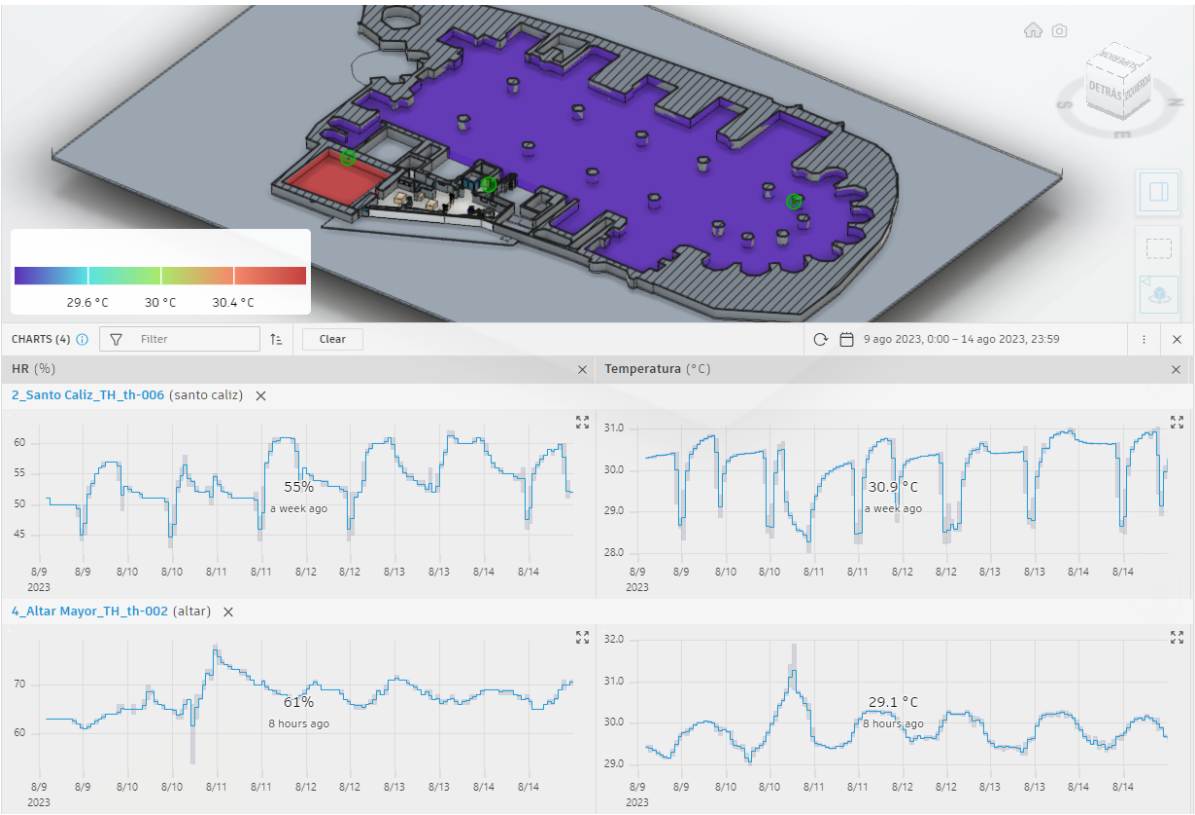



*FIG. 69. Captura de pantalla del modelo de la plataforma Autodesk Tandem. Elaboración propia.*

También fueron incorporados a la plataforma los datos obtenidos por los contadores de personas en el Museo (fig. 70).

*FIG. 70. Captura de pantalla del modelo de la plataforma Autodesk Tandem. Elaboración propia.*

El Modelo en Tandem además de servir como vínculo para monitorizar el edificio, también incorpora la información que se le agregue desde Revit, como es el caso de la columna. Se pueden incorporar archivos PDF en los elementos que previamente deben ser cargados en una cuenta de Autodesk Docs (fig. 71).

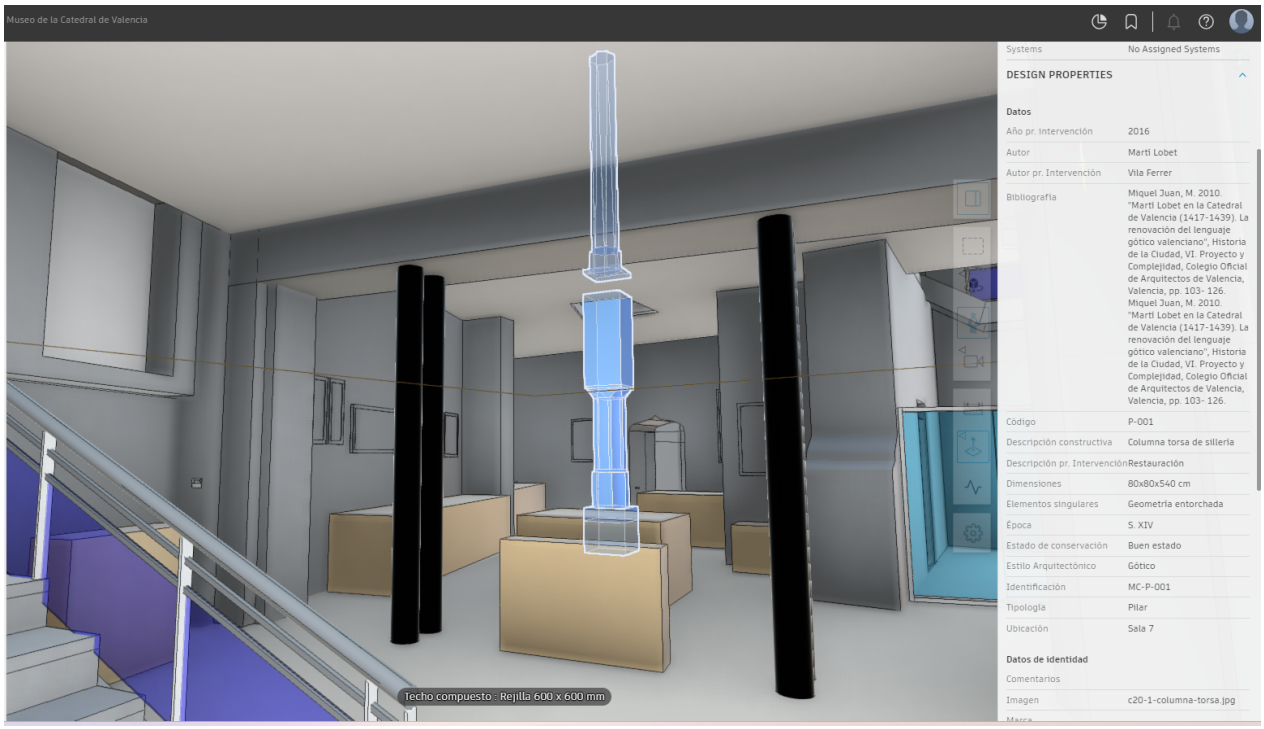



*FIG. 71. Captura de pantalla del Interior del Museo. Elaboración propia.*

En la figura 72 se demuestra la versatilidad que tiene el modelado HBIM, que puede ser utilizado en diferentes aspectos de la gestión del Museo. En este caso se lo utilizó para generar planos para facilitar el recorrido de los visitantes.

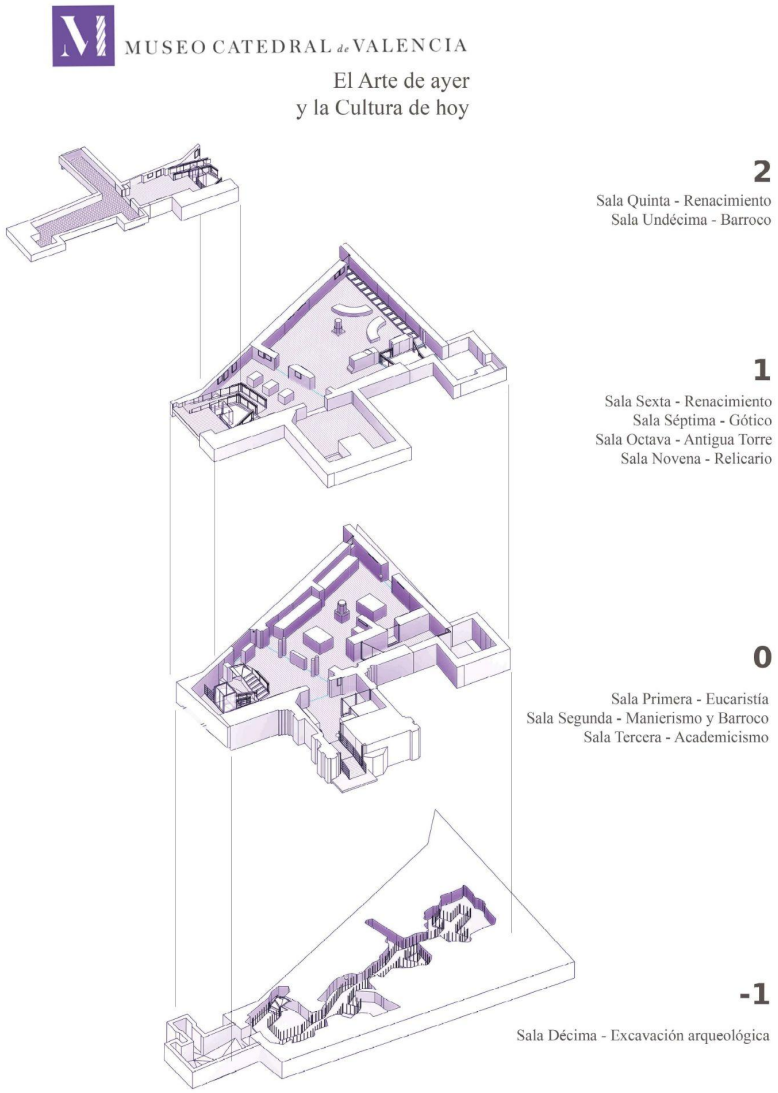



*FIG. 72. Gráfico de distribución del Museo para visitantes. Elaboración propia.*

## 11. Listado de acrónimos

**BIC** Bien de Interés Cultural

**BIM** *Building Information Modelling* (Modelo de Información de la Construcción)

**CCR** Capacidad de Carga Recreativa

**FM** *Facility Management* (Gestión de servicios y equipamientos)

**HBIM** *Heritage Building Information Modelling* (Modelo de Información de Bienes Patrimoniales)

**GPS** *Global Positioning System*

**LOD** *Level of detail/Level of development* (Nivel de definición de los elementos del modelo BIM)

**LOK** *Level of knowledge* (Nivel de conocimiento)

**PDF** *Portable Document Format*

**SIG** Sistema de Información Geográfica

**SNUR** Superficie No Útil de Recreación

**SUR** Superficie Útil de Recreación

## 12. Índice de figuras

FIG. 1. Entorno de la Catedral de València. Elaboración propia sobre fotografía satelital de Google Maps (2020).

FIG. 2. Plantas de la Catedral. Evolución de su construcción. (Zaragozá, 1996).

FIG. 3. Modelos 3d de la evolución de la Catedral. Elaboración propia.

FIG. 4. Catedral. Planta. (Pons Sorolla y Moya, s.f.)

FIG. 5. Fotografía de la placa de la que toma el nombre la calle de la Barchilla. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 6. Sector de la Catedral del Mapa de València de Vicente Tosca (1704).

FIG. 7. Imagen de encuentro de Museo con Sala Capitular. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 8. Imagen de columna entorchada en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 9. Fotografía del estado de la Calle de la Barchilla luego de los incendios provocados en la Guerra Civil (Autor desconocido, circa 1936).

FIG. 10. Tabla de superficies del Museo. Elaboración propia.

FIG. 11. Planta Baja del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/

FIG. 12. Planta Subsuelo del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/

FIG. 13. Primer Piso del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/

FIG. 14. Segundo Piso del Museo. Fuente: https://museocatedralvalencia.com/

FIG. 15. Gráfico de la composición de la colección del Museo discriminada por épocas de elaboración de las piezas. Elaboración propia.

FIG. 16. Gráfico de la composición de la colección del Museo discriminada por técnica empleada. Elaboración propia.

FIG. 17 a 23. Imágenes de piezas expuestas en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 24. Condiciones ambientales óptimas para la conservación de obras de arte en museos. Elaboración propia a partir de Michalski (2013).

FIG. 25. Ejemplos de estándares de proxémica y de confort recreativo. Viñals et al. (2017)

FIG. 26. Imagen de torniquete bidireccional. Fuente: google.com.

FIG. 27. Imágen de horas punta de sitio aleatorio. Fuente: googlemaps.com (2023)

FIG. 28. Fotografía del levantamiento realizado en la Catedral de València. Autor: Pablo A. Escudero (2022)

FIG. 29. Ficha técnica del Faro Focus 3d x 130. Instrumento utilizado para la toma de datos.

FIG. 30. Captura de pantalla de verificación de calidad de datos de nube de puntos. Elaboración propia.

FIG. 31. Captura de pantalla de verificación de calidad de datos de nube de puntos. Elaboración propia.

FIG. 32. Parámetros BIMlegacy. Fuente Jordán Palomar (2019).

FIG. 33. Toma de datos de duración media de visita. Elaboración propia.

FIG. 34. Componentes electrónicos del circuito. Elaboración propia (2023).

FIG. 35. Esquema de armado del circuito. Elaboración propia (2023).

FIG. 36. Circuito armado. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 37. Esquema de diseño de la caja del sensor. Elaboración propia (2023).

FIG. 38. Imagen de caja de sensor impresa con impresora 3d. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 39 y 40. Fotografías de la salida e ingreso del Museo. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 41 a 45. Fotografías de la instalación de los sensores en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023)

FIG. 46. Fotografía de sensor instalado en el Museo. Autor: R. Broquetas (2023).

FIG. 47. Imagen del sensor testo Saveris 2, de la página oficial del fabricante www.testo.com.

FIG. 48. Ubicación de los sensores de Temperatura y Humedad en Nivel 0 y Nivel 1 del Museo. Elaboración propia a partir del modelo HBIM.

FIG. 49. Modelo HBIM del Subsuelo. Elaboración propia.

FIG. 50. Modelo HBIM de la Planta Baja. Elaboración propia.

FIG. 51. Modelo HBIM del Segundo Nivel. Elaboración propia.

FIG. 52. Incorporación de datos constructivos en elementos singulares. Elaboración propia.

FIG. 53. Modelado de elementos singulares. Elaboración propia.

FIG. 54. Modelado de elementos singulares. Elaboración propia.

FIG. 55. Tabla de resultados de la duración media de la visita. Elaboración propia.

FIG. 56. Trabajo de campo en el Museo (Autora: M.J. Viñals, 2023).

FIG. 57. Subsuelo del Museo. Cálculo CCR. Elaboración propia.

FIG. 58. Planta Baja del Museo. Cálculo CCR. Elaboración propia.

FIG. 59. Planta Segunda del Museo. Cálculo CCR. Elaboración propia.

FIG. 60. Tabla de Cálculo CCR. Elaboración propia.

FIG. 61. Tabla de visitas totales a la Catedral. Elaboración propia.

FIG. 62. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 09-08-2023. Elaboración propia.

FIG. 63. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 10-08-2023. Elaboración propia.

FIG. 64. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 11-08-2023. Elaboración propia.

FIG. 65. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 13-08-2023. Elaboración propia.

FIG. 66. Gráfico flujo de visitantes en función del tiempo. Día 13-08-2023. Elaboración propia.

FIG. 67. Tabla de visitas totales al Museo. Elaboración propia.

FIG. 68. Tabla comparativa de visitas totales a la Catedral y visitas al Museo. Elaboración propia.

FIG. 69. Captura de pantalla del modelo de la plataforma Autodesk Tandem. Elaboración propia.

FIG. 70. Captura de pantalla del modelo de la plataforma Autodesk Tandem. Elaboración propia.

FIG. 71. Captura de pantalla del Interior del Museo. Elaboración propia.

FIG. 72. Gráfico de distribución del Museo para visitantes. Elaboración propia.