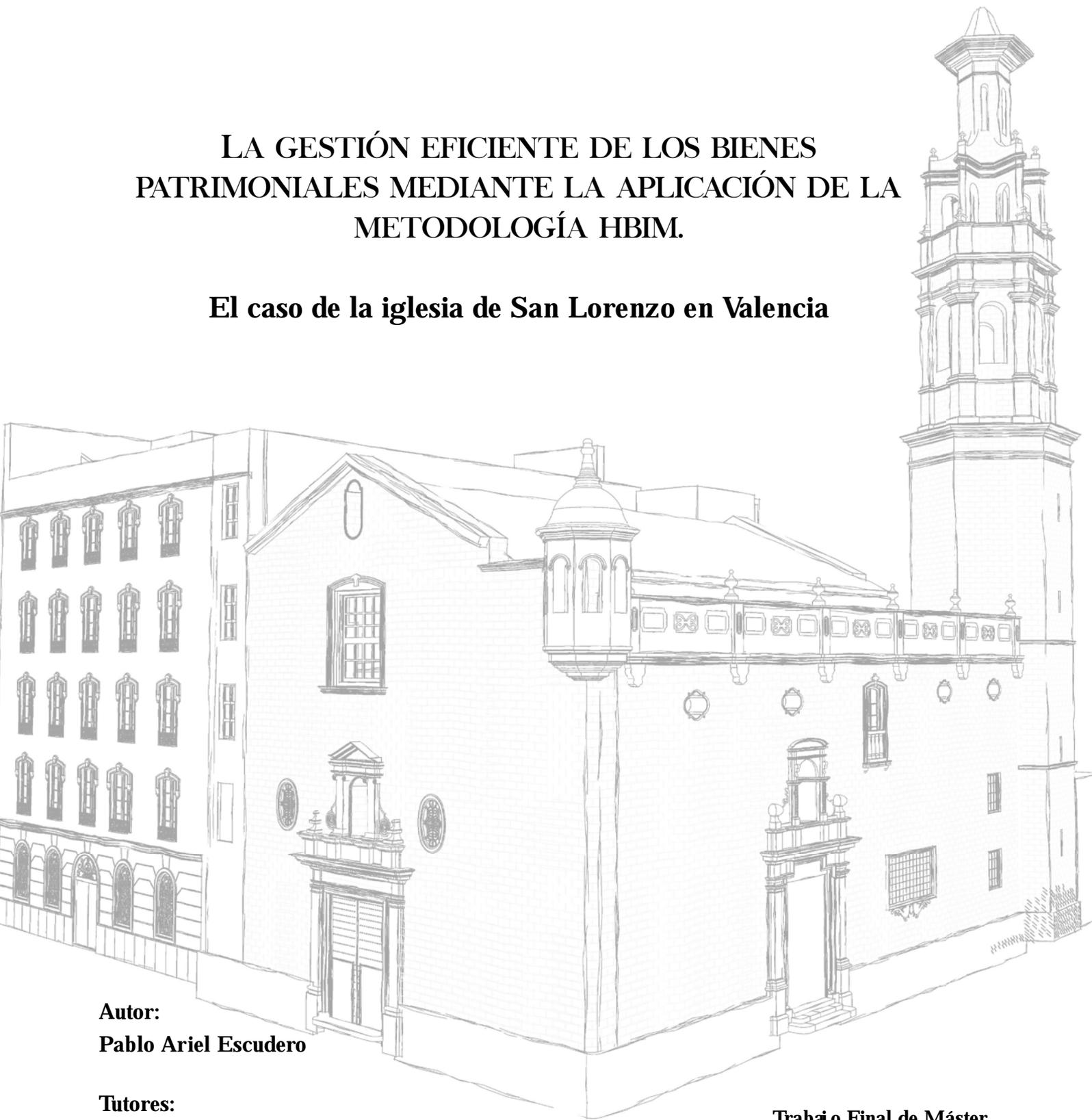


# LA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS BIENES PATRIMONIALES MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HBIM.

## El caso de la iglesia de San Lorenzo en Valencia



**Autor:**

**Pablo Ariel Escudero**

**Tutores:**

**Dr. Santiago Tormo Esteve**

**Dr. Jorge Luis García Valdecabres**

**Trabajo Final de Máster**

**MOCPA ETSA-UPV**

Curso académico: 2020-2021



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA



MASTER OFICIAL EN  
CONSERVACIÓN DEL  
PATRIMONIO ARQ.



---

LA GESTIÓN EFICIENTE DE LOS BIENES PATRIMONIALES  
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA HBIM:

**el caso de la iglesia de San Lorenzo en Valencia**

**Trabajo Final de Máster**  
**MOCPA ETSA-UPV**  
2020/21

**Pablo Ariel Escudero**

**Tutores:**

**Dr. Santiago Tormo Esteve**  
**Dr. Jorge Luis Garcia Valdecabres**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA



MASTER OFICIAL EN  
CONSERVACIÓN DEL  
PATRIMONIO ARQ.

**Valencia, 2021**

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no podría haber sido posible sin las revisiones, aportaciones y motivaciones de mis tutores Jorge Luis García Valldecabres y Santiago Tormo Esteve, a los cuales les agradezco enormemente la vocación y el tiempo invertido.

Gracias por ser guías en este proceso.

## RESUMEN

En la actualidad, la información sobre los edificios históricos y sitios arqueológicos suele estar representada como una colección de documentos provenientes de diversos tipos y fuentes, elaborados por diferentes profesionales. Cada uno de estos trabaja con sus propias herramientas y estándares y, en consecuencia, se genera una dispersión y descoordinación de la información, perdiéndose tiempo y afectando la correcta toma de las decisiones.

Este trabajo propone la inclusión de la metodología BIM al patrimonio cultural - o sea, HBIM -, teniendo como objetivos principales agilizar y automatizar la manipulación de la información en un ámbito colaborativo multidisciplinar. El trabajo, así, también contribuye para demostrar las diversas utilidades prácticas de esta metodología en el proceso de tutela y gestión de los bienes culturales.

El método de trabajo utilizado ha sido la propuesta de un modelo de actuación aplicado a la Iglesia de San Lorenzo de Valencia, edificación que tiene origen en el siglo XVII y ha sufrido diversas transformaciones a lo largo de su historia. Fue desarrollado un flujo de trabajo a partir del análisis del ciclo de tutela de las edificaciones históricas, como también de investigaciones sobre la aplicación concreta de la metodología HBIM, lográndose, por fin, demostrar las ventajas del empleo de HBIM en la gestión eficiente - interpretación, estudio y conservación - de las edificaciones históricas.

Palabras claves: HBIM, patrimonio, conservación, gestión.

## ABSTRACT

Today, the information about historical buildings and archaeological sites is usually represented as a collection of documents from various types and sources, elaborated by different professionals. Each one of these professionals works with their respective tools and standards and, consequently, it generates a dispersion and a lack of coordination of the information, leading to the waste of time and affecting the decision-making process.

This work proposes the inclusion of the BIM methodology to the cultural heritage - that is, HBIM -, having as main objectives to streamline and automate the manipulation of information in a multidisciplinary collaborative environment. The work, thus, also contributes to demonstrate the various practical utilities of this methodology in the process of guardianship and management of cultural assets.

The work method used has been the proposal of an action model applied to the Church of San Lorenzo in Valencia, a building from the seventeenth century that has undergone several transformations throughout its history. A workflow was developed based on the analysis of the guardianship cycle of historic buildings, as well as on the research on the specific application of the HBIM methodology, achieving to demonstrate the advantages of using HBIM in efficient management - interpretation, study and conservation - of historic buildings.

Keywords: HBIM, heritage, conservation, management.

# Abreviaturas y siglas

2D: Bi-dimensional

3D: Tri-dimensional

3D-HBIM: Historic Building Information Modeling tri-dimensional

AIA: American Institute of Architects

BCF: BIM Collaboration Format

BEP: Building Execution Plan

BIM: Building Information Modeling

CAD: Computer Aided Design

DSM: Digital Surface Model

DST: Digital Surface Terrain

GIS: Geographic Information System

HBIM: Historic Building Information Modeling

ICOMOS: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios

IFC: Industry Foundation Classes

LOD: Level of Detail

LoD: Level of Development

LOI: Level of Information

NURBS: Non-Uniform Rational B-Splines

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

# Índice

## 1. Introducción

1.1. La gestión eficiente de los bienes patrimoniales .....	12
1.2. Estado de la cuestión.....	13
1.3. Justificación.....	15
1.3. Objeto de estudio.....	15
1.4. Objetivos.....	16

## 2. Marco Teórico

2.1. Protección del patrimonio: marco legal y de aplicación en España .....	17
2.2. La figura jurídica de la tutela .....	17
2.3. Los Planes Directores .....	18
2.4. Metodologías digitales para el registro de la documentación .....	19
2.5. Building Information Modeling (BIM) .....	19
2.5.1. Flujo de datos BIM .....	22
2.5.2. Fases del ciclo de vida del proyecto .....	22
2.5.3. Softwares BIM .....	24
2.5.4. Implementación: protocolos y guías.....	25
2.5.5. Gestión de la información.....	26
2.6. HBIM: aplicaciones de la metodología BIM en el campo del patrimonio cultural ....	27
2.6.1. Dimensiones de la información en BIM .....	29
2.6.2. Dimensiones de la información en HBIM .....	29
2.6.3. Marco teórico de referencia HBIM .....	29
2.6.4. Ciclo de vida de un proyecto HBIM .....	31
2.6.5. Desarrollo de protocolos basados en el orden de los procesos HBIM .....	31
2.6.6. Retos y procesos de HBIM en la actualidad.....	36
2.6.6.1. Las primeras experimentaciones de HBIM en el Cenador Carlos V del Real Alcázar de Sevilla .....	37
2.6.6.2. La gestión del patrimonio construido a través del proyecto.....	39
2.6.6.3. La comprensión de la evolución histórica de los edificios a través del análisis estratigráfico en HBIM .....	40
2.6.6.4. Determinación de hipótesis de fases históricas .....	41
2.6.6.5. Aplicación de HBIM como herramienta de gestión del uso público.....	45
2.6.6.6. HBIM como instrumento para el desarrollo de planes directores .....	46

## 3. Metodología

3.1. Modelo teórico de aplicación .....	47
3.1.1. Construcción del modelo .....	48
3.1.2. Matriz de procesos .....	53
3.1.3. Esquema de generación del modelo HBIM .....	59
3.1.4. Obtención de la información gráfica .....	60
3.1.5. Planificación del modelo HBIM: criterios para la generación del modelo .....	61
3.1.6. Organización del sistema de información .....	61
3.1.7. Organización de las bibliotecas de elementos constructivos .....	61
3.1.8. Tipos de parámetros .....	62
3.1.9. Estrategias de generación del modelo geométrico .....	63
3.1.10. Generación de plantillas .....	66
3.1.11. Biblioteca de materiales .....	66

# Índice

<b>4. La Iglesia de San Lorenzo</b>	
4.1. Emplazamiento .....	68
4.2. Origen .....	69
4.3. La Parroquia de San Lorenzo .....	69
4.4. Tipología original .....	70
4.5. Descripción del edificio .....	70
4.5.1. Sistema constructivo .....	71
4.5.2. Sistema estructural .....	71
4.6. La ampliación del convento franciscano de San Lorenzo .....	72
4.7. Las transformaciones del edificio según los grabados y planos históricos .....	73
4.8. Fuentes documentales escritas referentes al edificio.....	75
4.9. Hipótesis cronológicas de las transformaciones del edificio .....	76
4.10. Normativas de aplicación .....	78
4.11. Protección del bien .....	78
<b>5. Aplicación experimental de HBIM: La Iglesia de San Lorenzo de Valencia.....</b>	<b>80</b>
5.1. Fase inicial.....	80
5.2. Decisiones previas para la implementación HBIM.....	81
5.3. Fase de identificación del bien patrimonial.....	83
5.3.1. Generación del modelo HBIM de la Iglesia de San Lorenzo.....	84
5.3.2. Asignación de parámetros a los elementos constructivos.....	87
5.3.3. Reconocimiento de las cartografías históricas existentes.....	88
5.3.4. Enlazado de los documentos.....	88
5.3.5. Reconocimiento de las fases históricas constructivas.....	89
5.3.6. Generación de fichas de reconocimiento.....	90
5.3.7. Reconocimiento del comportamiento estructural .....	91
5.3.8. Reconocimiento de las patologías existentes.....	92
5.3.9. Estudio de las normativas urbanísticas y de protección.....	94
5.3.10. Generación de la base de datos de la Iglesia.....	94
5.4 Fase de diagnóstico del bien patrimonial.....	96
5.5. Fase de proyecto de intervención .....	97
5.6. Fase de intervención.....	98
5.7. Fase de gestión .....	98
<b>6. Resultados .....</b>	<b>99</b>
<b>7. Discusión .....</b>	<b>101</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>102</b>
8.1. Líneas abiertas para investigaciones futuras .....	105
<b>9. Bibliografía .....</b>	<b>106</b>
<b>10. Apéndice .....</b>	<b>111</b>

# 1. Introducción

La noción de patrimonio histórico surge a partir del significado de monumento histórico que, según F. Choay, tiene origen en el año 1420 en la ciudad de Roma (2014). Es la ocasión en la cual los humanistas y los artistas empiezan a desarrollar nuevas miradas hacia las obras de la Antigüedad y a definir la historia como una disciplina y el arte como una actividad autónoma (Choay, 2014) - condición necesaria para la formación del concepto de monumento histórico, una vez que en este último la historia y el arte están directamente relacionadas.

Aproximadamente cuatro siglos después, un marco importante a considerar es el hecho de que, después de la Revolución Francesa, uno de los primeros actos jurídicos de la Constitución fue colocar los bienes del clero y de la nobleza a disposición de la nación. Esta transferencia de propiedad contribuyó para instituir una cierta noción de propiedad colectiva relativa a estos bienes y para resignificar el valor de los monumentos, implicando así en la necesidad de su conservación.

En 1837, cuando los franceses crean la primera Comisión de los Monumentos Históricos, es válido destacar que eran considerados monumentos históricos las construcciones remanentes de la Antigüedad, los edificios religiosos y algunos castillos de la Edad Media. Después de la Segunda Guerra Mundial, este número de bienes se vio incrementado con la inclusión de nuevos tipos de bienes - como las construcciones de la así llamada “arquitectura menor” - y con el alargamiento del cuadro cronológico hasta entonces considerado.

A mediados del siglo XIX, en el contexto del movimiento romántico, surgen las primeras teorías acerca del problema de la intervención sobre bienes patrimoniales. Por un lado, había Eugène Emmanuel Viollet-le Duc y su restauración estilística, que postulaba que restaurar un edificio no significa solo mantenerlo, repararlo o rehacerlo, sino que podría también significar restablecerlo a un estado de integridad que pudo no haber nunca existido. Por otro lado, estaba John Ruskin, que consideraba que los monumentos históricos y sus ruinas debían dar testimonio de la verdad y, así, defendía la pura conservación de los edificios y condenaba la restauración. Reconstruir los monumentos correspondía, para Ruskin, a su completa falsificación material y moral.

Basadas en una combinación de las contribuciones más relevantes de las dos teorías, las aportaciones de Camillo Boito presentadas en el III Congreso de Ingenieros y Arquitectos de Italia de 1883 remarcan la importancia de la manutención y consolidación de los monumentos y el registro documental de las restauraciones. Sus aportaciones también remarcan el valor de los monumentos arquitectónicos del pasado, que son considerados bajo la perspectiva de su importancia para los estudios de arquitectura por ser considerados documentos de la historia.

En 1931, ampliando las discusiones sobre el tema del patrimonio a nivel internacional, es elaborada, a partir de la reunión de representantes de las comisiones de distintos países europeos, la conocida Carta de Atenas, dedicada a establecer los criterios para la restauración y la conservación de monumentos en Europa con el objetivo de evitar los errores del pasado. Entre sus recomendaciones propone: restaurar cuando sea indispensable, mantener el uso de los bienes, la importancia de la difusión y la creación de archivos para la conservación de los documentos.

Esta fue proseguida por la Carta de Venecia, del año 1964, en la cual se define de manera más amplia la noción de monumento histórico, adicionando la condición de obras modestas, refiriéndose a las cuales con el tiempo han adquirido un significado cultural. Además, define la conservación y restauración de monumentos, considerándolas disciplinas que abarcan todas las ciencias y todas las técnicas que puedan contribuir a su estudio.

En la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, realizada en 1972, surge finalmente la definición del concepto de patrimonio cultural, que es entendido como:

El Patrimonio Cultural es el conjunto de bienes materiales e inmateriales, tangibles e intangibles, producto creativo y herencia de un grupo humano, que refuerzan emocionalmente su sentido de comunidad con una identidad propia y que son percibidos por otros como característicos. El Patrimonio Cultural como producto de la creatividad humana se hereda, se transmite, se modifica y optimiza de individuo a individuo y de generación a generación. (UNESCO, 2014)

Comprenden:

- i) los monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia;
- ii) los conjuntos: grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia;
- iii) los lugares: obras del hombre u obras conjuntas del hombre y la naturaleza, así como las zonas, incluidos los lugares arqueológicos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico. (UNESCO, 1972)

Nótese, así, que el significado del término de “patrimonio” sufrió algunas transformaciones a lo largo del tiempo, dejando de atarse exclusivamente a los valores históricos y artísticos - que inicialmente se constituían- como los atributos necesarios para a valoración de un bien - para incorporar también los valores culturales, el valor de la identidad y por último la capacidad del objeto para interactuar con la memoria de las personas. El reconocimiento de un objeto como patrimonio cultural está basado en los valores que la sociedad le atribuye. Gracias a ello también ha sido posible reconocer los valores del patrimonio cultural intangible, que fueron ignorados durante mucho tiempo y, sin embargo, forman parte del patrimonio a ser protegido y salvaguardado.

En el año 2003 en la “Convención para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial” promovido por la UNESCO, encuadra la definición de “patrimonio cultural inmaterial” entendiéndose por ello: “los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas -junto con los instrumentos, objetos, artefactos y espacios culturales que les son inherentes- que las comunidades, los grupos y en algunos casos los individuos reconozcan como parte integrante de su patrimonio cultural”. La Convención también define el concepto de “salvaguardia” a las que refiere como “medidas encaminadas a garantizar la viabilidad del patrimonio cultural inmaterial, comprendidas la identificación, documentación, investigación, preservación, protección, promoción, valorización, transmisión -básicamente a través de la enseñanza formal y no formal- y revitalización de este patrimonio en sus distintos aspectos.” (UNESCO, 2003)

“Los edificios siempre necesitan un mantenimiento programando en el tiempo y su grado de intervención vendrá afectado por los agentes agresores externos sean estos naturales o humanos. Pero cuando al edificio se le agrega valores del tipo histórico esto se convierte en un “hecho patrimonial” que nos obliga agregarle otra componente la de preservar lo conocido.” (Nieto Julián E. , 2019)

## 1.1. La gestión eficiente de los bienes patrimoniales

En el campo del patrimonio, cuando hablamos de gestión cultural nos referimos a las acciones que tienen la función de administrar los bienes, con el fin de garantizar su supervivencia en el tiempo. En este sentido, Ballart y Juan (2001) definen la gestión del patrimonio cultural como el “conjunto de actuaciones programadas con el objetivo de conseguir una óptima conservación de los bienes patrimoniales y un uso de estos bienes adecuado a las exigencias sociales contemporáneas”. Por otro lado, en el sector de la gestión y las políticas culturales, las acciones que pueden implementarse en relación con el patrimonio cultural incluyen el diseño, la planificación o programación en tres escalas: plan, programa y proyectos.

La gestión eficiente de los bienes patrimoniales conlleva un proceso organizado, planificado y metódico, que tiene como objeto fundamentar la toma de decisiones de forma tal que resulte eficiente y sostenible. Esto puede materializarse, por ejemplo, con el uso de los instrumentos de gestión: planes de gestión, planes directores, planes nacionales, etc.

ICOMOS, en la Asamblea General del año 2011 que formula el documento “Principios de La Valeta para la salvaguardia y gestión de las poblaciones y áreas urbanas históricas”, afirma que la salvaguardia y gestión deben apoyarse en estudios preliminares multidisciplinares con el fin de determinar los componentes y valores del patrimonio urbano que deben ser conservados. Es indispensable tener un conocimiento profundo del lugar y de su medio para toda acción de salvaguardia.” Los lineamientos de la Valeta introducen la figura del Plan de Gestión, al cual definen como un documento que especifica detalladamente las estrategias e instrumentos necesarios para la protección del patrimonio y que, al mismo tiempo, responde a las necesidades de la vida contemporánea. Este, además, contiene documentos legales, económicos, administrativos y de conservación, así como otros planes de conservación y seguimiento.

El mismo documento propone algunos otros lineamientos, basados en los principios del desarrollo sostenible, que consisten en:

- El mantenimiento y seguimiento permanentes son esenciales para la salvaguardia efectiva de una ciudad o área urbana histórica.
- Una planificación apropiada requiere una documentación precisa y actualizada en tiempo real (análisis del contexto, estudio en diferentes escalas, inventario de las partes componentes e impactos, historia urbana que incluya las fases de evolución, etcétera). (ICOMOS, 2011)

Podemos afirmar, entonces, que la idea de gestión eficiente está sustentada por una mirada integral del patrimonio a través de las herramientas de salvaguarda y gestión. En este sentido, proponemos la utilización de la metodología HBIM como una herramienta para lograr mirada integra de los bienes patrimoniales.

A través de la implementación de esta metodología es posible lograr una mirada holística sobre el patrimonio. HBIM es capaz de incorporar tanto información cualitativa y cuantitativa sobre los bienes culturales para su representación física y la de sus características funcionales, permitiendo así la generación de modelos y simulaciones. Esta herramienta posibilita también incorporar características intangibles, como los valores del bien cultural, los cuales son integrados en el modelo 3D de forma estructurada y coherente. Esto permite una fácil extracción de información y producción de documentos entregables. Sin embargo, es necesario una sistematización de la información y un claro enfoque, es decir, definir desde el principio cuáles son los límites del proyecto y los elementos esenciales para evitar la excesiva complejidad.

Otra de las ventajas de la inclusión de HBIM está relacionada con el trabajo colaborativo y las operaciones de seguimiento de los bienes del patrimonio cultural, como también la gran variedad de productos que pueden ser generados a través de esta metodología, desde un reconocimiento material hasta un ambiente de realidad virtual. Puede ser citada aún la inclusión de modelos digitales como fuente de difusión de cultura, no solo con fines educativos, sino también para permitir que el público en general interactúe con archivos patrimoniales y museos virtuales. En este sentido, y reforzando la relevancia de la metodología HBIM para el campo del patrimonio cultural, vemos en la Carta orientada a la preservación del patrimonio archivístico digital la importancia de:

“Definir procedimientos y estrategias de gestión archivística de documentos cuando de la creación, transmisión y preservación de documentos en formatos digitales, con el objetivo de garantizar la producción y manutención de documentos fidedignos, auténticos, accesibles, comprensibles y que puedan ser preservados.” (UNESCO, 2003)

La documentación de los bienes culturales tiene el objetivo de conservar su imagen y su historia, guiando su preservación, además de ser una fuente de información que sirve para la difusión de los valores patrimoniales del mismo. Es imprescindible para ello proceder a una sistematización de las informaciones, para que estas contribuyan con la eficiencia de los proyectos y acciones vinculados al campo del patrimonio cultural.

Vemos, entonces, la utilización de la metodología HBIM como una herramienta que complementa la gestión eficiente de los bienes patrimoniales. Ambos encuadran los mismos principios teóricos, como son la participación multidisciplinar, la colaboración, la interacción de todos los agentes envueltos, la disponibilidad de la información, los cuales son orientados a la búsqueda de la eficiencia y la sostenibilidad en la toma de decisiones.

## 1.2. Estado de la cuestión

El objeto de nuestro estado de la cuestión es localizar el hueco o problema en torno al campo en el que nos hemos plantado el trabajo, la aplicación de HBIM en el proceso de tutela. Y, de esta forma, junto con el marco teórico que trataremos más adelante, establecer los argumentos relativos al trabajo de implementación de la metodología BIM en el patrimonio cultural, desde el punto de vista profesional de la tutela del patrimonio. No obstante, se abordarán determinadas cuestiones sobre los aspectos poco tratados, se identificarán los autores principales que han publicado sobre la materia, los conceptos esenciales, así como se detectarán los vacíos en la literatura.

Nos ha de servir para delimitar el problema del trabajo, formular los objetivos y mostrar la contribución que nos proponemos realizar en el campo, al mismo tiempo, que se identificarán las relaciones entre ideas teóricas y aplicaciones prácticas.

Tradicionalmente, la información sobre los edificios históricos está formada por una colección de documentos individuales, informes, dibujos, archivos CAD 2D o 3D y diversos conjuntos de datos proporcionados por diferentes profesionales, cada uno trabajando con sus propias herramientas y estándares. Esta información suele estar dispersa en varias ubicaciones (repositorios de datos electrónicos, bases de datos y archivos físicos) y en varios formatos (papel y electrónico). Por este motivo, en muchos casos, no existe una única fuente fiable del bien patrimonial, lo que puede conducir a errores en la toma de decisiones y afectar negativamente a la conservación del bien (Historic England, 2017).

Building Information Modelling (BIM), se propone como solución a este problema, ya que se trata de una metodología de trabajo colaborativa, que permite unificar, coordinar y compartir la información que originan las diferentes disciplinas involucradas en un proceso constructivo, logrando de este modo, una gestión más eficiente (Volk et al 2014 ).

Durante los últimos 8 años, ha habido un creciente interés por investigar las capacidades de BIM para la conservación del patrimonio arquitectónico, denominado con el término de Heritage Building Information Modelling (HBIM).

Los casos de estudio publicados demuestran que el uso de HBIM permite una gestión más eficiente de la información de los bienes patrimoniales ya que generan métodos más eficientes para documentar, proyectar, mantener y gestionar su uso a lo largo de todo su ciclo de vida, al igual que ocurre en el sector de la nueva construcción. Numerosos estudios muestran los beneficios de HBIM para registrar y documentar el estado actual del bien patrimonial y su evolución constructiva (García-Valldecabres et al., 2018; Castellano y Pinto 2019; Santoni et al. 2020).

Dado que en el contexto internacional el uso de BIM es ya casi una exigencia generalizada, se están desarrollando documentos directrices como guías y protocolos para facilitar la implementación progresiva y coordinada del sistema HBIM entre los profesionales del sector patrimonial, como la guía BIM for Heritage (Historic England, 2017), la guía uBIM (BuildingSMART Spanish Chapter 2018), el Protocolo HBIM desarrollado por Jordán et al. (2018) y el Protocolo HBIM para la gestión del uso público del patrimonio elaborado por Salvador García (2020).

Las líneas de investigación más recientes relativas a la aplicación de HBIM para la gestión del patrimonio están optando por desarrollar plataformas web HBIM en un entorno de trabajo colaborativo que permitan unificar e intercambiar la información de modelos HBIM y bases de datos y facilitar el acceso remoto de los agentes que intervienen en la conservación del patrimonio construido (Lo Turco et al. 2017).

El desarrollo de nuevos softwares y plataformas web específicas en gestión de instalaciones como Archibus®, EcoDomus®, Zutec® que permiten integrar la información de los modelos BIM y los datos adquiridos a través de sensores, están mejorando la eficiencia de la gestión de las instalaciones y la planificación del mantenimiento de grandes edificios e infraestructuras. Como ejemplo de implementación práctica, la Ópera de Sydney (Australia) (Sánchez et al. 2015) está empleando la plataforma web Ecodomus® para vincular al modelo HBIM con la documentación de ingeniería y mantenimiento existente y los sistemas de control y gestión del edificio. Por otro lado, Fassi et al. (2015) han desarrollado una plataforma web denominada BIM3DSG, para gestionar las labores de mantenimiento de la Catedral de Milán (Italia). También Fregonese et al. (2015) han empleado la plataforma BIM3DSG, para investigar las posibilidades que ofrecen los modelos HBIM para el diseño y gestión de un plan de mantenimiento preventivo, empleando como caso de estudio la iglesia Galvagnina de Pegognaga (Italia).

Sin embargo, la revisión de la literatura científica no ha evidenciado estudios que propongan una plataforma de trabajo para documentar y sincronizar con el modelo HBIM la información que generan los agentes no técnicos y que no manejan softwares BIM, como el historiador o la Institución gestora, entre otros.

La identificación de esta laguna en el conocimiento supuso el punto de partida de este estudio.

## 1.3 Justificación

A partir de los conocimientos incorporados y madurados en el Máster de Conservación del Patrimonio, relacionados con la investigación histórica, el levantamiento gráfico-documental, la expresión gráfica, las técnicas constructivas y la evaluación de las estructuras históricas, despertaron nuestro interés por una solución capaz de centralizar e interrelacionar todas las informaciones acerca de un bien patrimonial. Por otro lado, las motivaciones fundamentales sobre el tema de estudio están fundadas en la creciente aplicación de las tecnologías digitales en el patrimonio arquitectónico con el fin de registrarlos por completo. La adaptación de las tecnologías digitales en el campo de patrimonio hacen posible su incorporación en la salvaguarda del patrimonio aportando así una mayor eficiencia, racionalidad y sustentabilidad en términos de gestión.

A pesar de los avances promovidos por la metodología HBIM, se identifican todavía algunas lagunas en su aplicación, relativas especialmente a los escasos protocolos específicos, fallas en la sistematización de los procesos y en la incompatibilidad entre los softwares utilizados en los proyectos. Ocurre también que muchas veces la metodología HBIM es vista como una herramienta meramente útil en la generación de modelos geométricos, lo que limita la explotación del potencial que posee para el campo del patrimonio cultural.

La hipótesis de este trabajo reside esencialmente en la cuestión de la exploración metodología HBIM como herramienta viable para una gestión eficiente de los bienes patrimoniales. Acreditando que esta es capaz de solucionar muchas de las lagunas existentes y que puede ser debidamente aplicada con flujos de trabajo efectivamente organizados y eficientes. Con relación a esta cuestión Beltramo, Diara y Rinaudo afirman que:

“La integración de la información histórica dentro de una plataforma HBIM implica enormes beneficios para la gestión de casos del Patrimonio Cultural, sus operaciones de seguimiento periódico y procesos de valorización, además la evolución histórica se considera correctamente. Esta solución permite maximizar la comprensión y también la comunicación del contexto analizado a través de unos sencillos pasos como visualizar, leer y consultar con el fin de asegurar la precisión y calidad de los datos finales.” (Beltramo, Diara y Rinaudo, 2019)

## 1.4. Objeto de estudio

La elección de la Iglesia de San Lorenzo de Valencia como caso de estudio para la experimentación de HBIM, fue una propuesta del profesor Jorge Luis García Valdecabres. El edificio había sido estudiado en el año 2017 por la asignatura “Intervención de edificaciones históricas” de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación de la cual él forma parte. Acompañado por el equipo de profesores conformado por Rafael Marín Sánchez y María Concepción López González, realizaron un levantamiento gráfico de alta precisión a partir del escaneo láser del edificio para conformar una nube de puntos. Esta, sirvió también para la realización de un análisis histórico-constructivo y la diagnosis de las manifestaciones patológicas encontradas. La existencia de la nube de puntos y de documentación gráfica facilitó la elección del edificio para la generación de un modelo centralizado HBIM. Por otro lado, las diversas patologías que posee fueron fundamentales para demostrar la utilidad del método.

## 1.5 Objetivos

El objetivo principal del trabajo es mostrar las posibilidades de la aplicación de la metodología HBIM en el proceso de tutela para mejorar la eficiencia en la gestión del patrimonio cultural.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Definir el modelo de gestión en el que se contemplan el conjunto de acciones desarrolladas en la tutela.
  - 1.1. Definir las acciones de tutela entorno al patrimonio cultural arquitectónico sostenible (de una extensión y volumen medio entre 2 y 4 mil metros cuadrados edificados).
  - 1.2. Definir los roles y las tareas a realizar una mejor y eficiente gestión del proceso de tutela.
  - 1.3. Definir el flujo de trabajo para implementar la tutela mediante la metodología HBIM.
  - 1.4. Definir y desarrollar la matriz de responsabilidades.
2. Definir el modelo central y los modelos locales 3D-HBIM y mostrar las capacidades y los alcances de las herramientas del modelo relativas a la gestión de la tutela:
  - 2.1. La aplicación de las fases histórico-constructivas en el modelo 3D-HBIM.
  - 2.2. La aplicación de los resultados de la implementación de los estudios estratigráficos murarios en el modelo 3D-HBIM.
  - 2.3. La aplicación en el modelo 3D-HBIM de la descriptiva de los materiales históricos que definen los sistemas constructivos, así como, las manifestaciones patológicas que concurren en el edificio.
  - 2.4. La aplicación en el modelo 3D-HBIM de los estudios de la evolución y del estado actual de la estructura.
  - 2.5. La generación semiautomática, resumen del conjunto de aplicaciones de las fichas de las lesiones que concurren en las fábricas del edificio.
3. Definir el protocolo proceso para la implementación de alto grado de integración del modelo 3D-HBIM mediante la plataforma colaborativa Teams.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Protección del patrimonio: marco legal y de aplicación en España

La protección del patrimonio en España tiene en el ámbito nacional la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español (LPHE), la cual, busca proteger y transmitir a las generaciones futuras los bienes que integran el Patrimonio Histórico Español. Tiene por objeto la de otorgar una mayor protección y tutela, definiendo la categoría de “Bienes de Interés Cultural” (BIC).

Por otro lado, con la descentralización del estado y la transferencia de las competencias a las Comunidades Autónomas por la Ley 7/1985, cada una de estas tienen la obligación de proteger el patrimonio histórico, artístico, monumental, arquitectónico, arqueológico y científico de la comunidad, y los Ayuntamientos tienen la obligación de cooperar con las comunidades.

Para ello, cada comunidad debió adaptar la LPHE. En el caso de la Comunidad Valenciana, existen la Ley 4/1998 de Patrimonio Cultural Valenciano y sus modificaciones correspondientes, las leyes 7/2004 y 9/2017, las cuales profundizan en la aplicabilidad con respecto a la LPHE, incorporando la categoría de Bien de Interés Cultural Valenciano que cuenta con la mayor protección y tutela. Además, se establece la categoría de Bien Inmueble de Relevancia Local (BRL), como también la inclusión de los bienes inventariados dentro del Inventario General del Patrimonio General Valenciano.

### 2.2. La figura jurídica de la tutela

La tutela se define como el conjunto de las acciones sociales y de las normas del orden jurídico-administrativo que tienen como finalidad garantizar la salvaguarda, conservación y gestión de los bienes culturales. (Mirri, 2009)

La legislación española refiere al término en la Ley del Patrimonio Histórico Español de 1985, que tiene entre sus objetivos “otorgar una mayor protección y tutela” a los bienes que integran el Patrimonio Histórico Español. Además, podemos citar el Código Civil español, el cual define la tutela aplicada a las personas y bienes es definida como una figura jurídica que garantiza la guarda y protección (Real Decreto de 24 de julio de 1889 por el que se publica el Código Civil). Así mismo, para la Real Academia Española (2021) se significo como el “derecho que se constituye para cuidar de la persona y de los bienes” alegando a la protección jurídica.

Sobre las definiciones antes descritas es posible concluir, que al hablar de tutela hacemos referencia a las acciones de protección y guarda. Y como parte de estas acciones acciones podemos citar, entre las enumeradas por la UNESCO en la definición de salvaguarda referente a los bienes patrimoniales, las siguientes: identificación, documentación, investigación, preservación, protección, promoción, valorización, transmisión y revitalización.

En el año 2012, la Junta de Andalucía avanza hacia una definición holística acerca de la tutela en el “Plan General de Bienes Culturales”, publicado en el referido año. En este Plan, el termino se aplica como la coexistencia de “procesos claves” y de “procesos transversales”, siendo los primeros representados por la protección, conservación y uso social de los bienes culturales y los últimos representados por la investigación, documentación, comunicación, educación y gobernanza. (Junta de Andalucía, 2012)

En el plan director de la Alhambra (2007-2015) se justifica la importancia de estos instrumentos al decir que:

“La existencia de órganos propios de gestión patrimonial y la creación de instrumentos de tutela jurídica constituyen la fórmula más eficaz para preservar los valores de identidad de los bienes culturales y garantizar su disfrute, percepción y comprensión individual y colectiva.”

### 2.3. Los Planes Directores

Los planes directores son instrumentos elaborados con una mirada interdisciplinar que busca facilitar la gestión; por ello, es vital que contengan una exhaustiva y clara lectura de un bien o conjunto de bienes. El Plan Nacional de Catedrales (1990) lo define como los documentos del bien que permiten racionalizar las intervenciones e inversiones aplicadas a su conservación y darles la necesaria continuidad. Para ello, es obligado ampliar y profundizar en su conocimiento, hacer un diagnóstico de las patologías del templo y de los bienes culturales en él contenidos, reflexionar sobre el cómo y sobre el porqué de esas intervenciones, atender a su mantenimiento y, de como difundir, tanto el conjunto de las investigaciones y documentaciones generadas en las actuaciones llevadas a cabo en los mismos bienes.

Los planes directores son documentos que se elaboran antes a las intervenciones por equipos multidisciplinarios, y en ellos, se determina la toma de datos a través -en lo posible- de la aplicación de técnicas no destructivas y el tipo de intervención a llevar a cabo en los bienes culturales. Suelen organizarse en diferentes fases de actuación en relación con los objetivos previstos siempre dependientes de factores económicos. El documento del plan reúnen la información completa para comprender el bien patrimonial, sirviendo a la planificación y regulación de las intervenciones en el mediano y/o largo plazo. Es una herramienta que prima por la adecuada conservación, restauración, rehabilitación del monumento, además de establecer las acciones necesarias para su gestión. Se informa en el trabajo sobre como se: “distribuirá el presupuesto disponible y buscará nuevas fuentes de financiación. Propondrá programas de promoción, difusión y analizará su viabilidad, así como su posterior publicación” (Segura, 2015)

Se concibe en el Instituto del Patrimonio Cultural de España, los Planes Directores para la conservación de bienes culturales se componen mínimamente de los siguientes apartados:

1. Antecedentes
2. Estudio histórico
3. Memoria descriptiva
4. Plan de intervención
5. Plan de gestión
6. Plan de difusión
7. Plan de conservación y mantenimiento

La organización y la definición del contenido de los Planes Directores constituyen líneas maestras de la acción tutelar sobre los bienes patrimoniales, y son, así, guías fundamentales para llevar a cabo una revisión crítica de los bienes en el proceso de salvaguarda y gestión. Este trabajo toma de referencia tal organización para la generación de un flujo de trabajo, considerando al mismo tiempo que la metodología HBIM tiene la posibilidad de contener, gestionar y producir la documentación base para un Plan Director. En esta, se ofrece información suficiente para llevar a cabo una toma de decisiones estratégicas sustentadas en el profundo conocimiento del bien. (M. Castellano Román, 2017)

## 2.4. Metodologías digitales para el registro de la documentación en bienes patrimoniales

La documentación de los bienes patrimoniales está compuesta por diferentes fuentes de información - tanto archivos físicos como digitales - y en la actualidad existen diversas metodologías para el registro de estos datos, siendo necesario, entonces, clasificarlas, ya que, cada una responde a un respaldo de la información en un soporte específico.

Según Nieto Julián (2019) los cambios en las técnicas gráficas no son más que un constante perfeccionamiento en el uso de software, una ganancia en precisión y tiempo de producción del proyecto arquitectónico. Para ello, la información debe fluir de manera continua y recíproca en un trabajo multidisciplinar que, cada vez requiere a más especialidades. (figura 1)

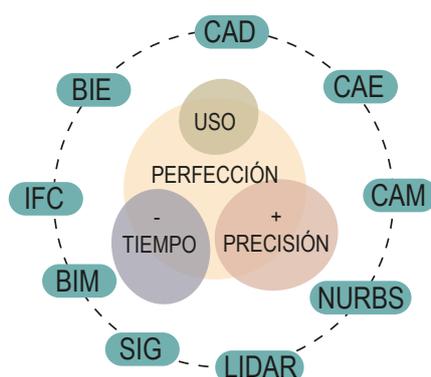


Figura 1. Cambios continuos en las técnicas gráficas, elaboración propia basada en Nieto Julián (2019).

Existen diversos sistemas digitales de generación de modelos 3D que permiten lograr distintos grados de maduración en la gestión de los bienes patrimoniales, siendo las más comunes:

**Modelado geométrico (CAD):** permite la creación y visualización tanto de modelos simplificados como de objetos sofisticados, con un alto nivel de realismo. Puede ser ejecutado a partir de modeladores geométricos como AutoCAD, Revit, 3D Max, etc., o a partir de programas de fotogrametría digital. Sus partes son componentes de un sistema representado con entidades geométricas como líneas, polígonos o circunferencias, de modo que al término el modelo se refiere a una representación geométrica generada por una computadora.

**Sistema de Información Geográficas (GIS):** son instrumentos que permiten levantar, gestionar, analizar y representar de forma automatizada datos georreferenciados, útiles para el registro y la gestión de la información como herramienta de apoyo para la gestión. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. (Esri, 2021)

**Building Information Modeling (BIM):** es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital a partir de la implementación de un modelo 3D y las bases alfanuméricas de datos vinculadas. Generando un sistema de información, el gemelo virtual del futuro edificio. Supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), tiempos (4D), costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D). (buildingSMART, 2021)

**Historic Building Information Modeling (HBIM):** es la extensión del concepto de BIM, con una mirada para la documentación, conservación, restauración, análisis y gestión de edificaciones históricas.

Teniendo en cuenta que HBIM es la principal herramienta que deseamos abordar en este trabajo, y que la metodología BIM constituye, pues, su base, entonces a continuación nos dedicaremos a presentar algunos conceptos y valores relativos a BIM que han de permitir comprender mejor esta metodología, los principios y estándares con los que se trabaja.

## 2.5. Building Information Modeling (BIM)

Los orígenes de la metodología Building Information Modeling (BIM) son resultado de la evolución de las tecnologías CAD (Computer Aided Design), desarrollados en 1955 dentro del Lincoln Laboratory al Massachusetts Institute of Technology (MIT) con el objetivo de reducir los tiempos que demandaba la elaboración de los proyectos en la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC). BIM, así, nace en los 70's como un término común para la representación digital de procesos para la edificación, con el objetivo de intercambiar e interpolar información en soportes digitales. (Eastman, 1999)

A pesar de que el concepto lleva algunos años desarrollado, la efectiva aplicación de la metodología BIM es bastante reciente y está en constante evolución sobre todo en el campo del patrimonio. La Guía BIM aplicada al Patrimonio Cultural de buildingSMART Spanish Chapter (2018) la define como: “el conjunto de metodologías, procesos, herramientas y formatos digitales para la gestión de proyectos y obras de construcción, principalmente de edificación, pero también para obra civil”. Y agrega que es la integración digital de las características geométricas, físicas y funcionales de un edificio o conjuntos de ellos, total o parcialmente, que permite crear, mantener y modificar la información de un modelo digital a lo largo de su ciclo de vida.

Uno de los objetivos principales de BIM es la generación de un modelo paramétrico, el cual Autodesk (2019) denomina como el conjunto de las relaciones entre todos los elementos de un proyecto que permiten la coordinación y la gestión de cambios. Estas relaciones son creadas automáticamente por el software o por el usuario. Así, en un modelo paramétrico, los cambios que se realicen sobre un parámetro impactarán y actualizarán automáticamente todos sus componentes asociados donde él se vea afectado. Por ejemplo, en un entorno BIM donde todas las vistas del conjunto bi-dimensional (2D) y tridimensional (3D) estén coordinadas, cualquier cambio que se realice quedará reflejado automáticamente en todas las vistas del modelo, lo que resulta en una actualización constante de la información.

Para considerarse BIM el modelo de aplicación debe cumplir algunas características, o sea, tiene que estar conformado por modelos tridimensionales que, a su vez, estén contruidos a partir de objetos (modelado de sólidos), los mismos deben poseer información específica de una disciplina codificada e integrada, relaciones entrelazadas y jerarquías entre sus objetos, y por último describir algún tipo de edificio.

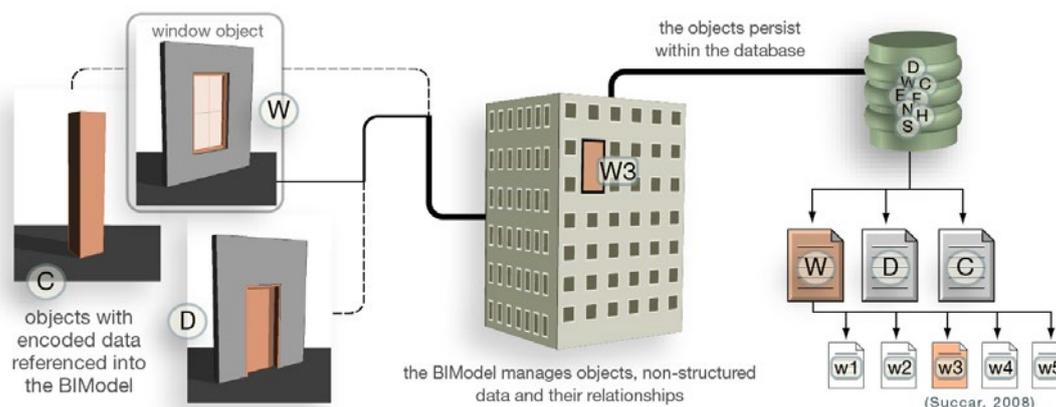


Figura 2. Denominador común de un modelo BIM. (Succar 2008)

Existen distintas alternativas para generar modelos BIM, posibilitando tanto la creación de modelos virtuales a partir de un diseño, en el caso que el edificio no esté construido, o si se tratase de un edificio existente, de tal forma que se pueda crear una base de datos asociada a dicho modelo, el cual incorpora la información relativa a los materiales, estructuras e instalaciones. En general, estas herramientas fueron diseñadas y creadas con un enfoque dirigido a la construcción de nueva planta y a la intervención en arquitecturas contemporáneas; por ello, el sistema de información disponible de formas, materiales, propiedades, precios, tareas, tiempos, etc., suelen ser incompatibles con otros tipos de construcciones, ya que en su mayoría corresponden a características proporcionadas por cada fabricante según patrones estandarizados. (buildingSMART Spanish Chapter, 2018)

B. Succar (2008), desarrolló un marco de referencia teórico que considera BIM como la interacción conjunta de políticas, procesos y tecnologías que interactúan dando como resultado una “metodología para gestionar el diseño esencial del edificio y los datos del proyecto en formato digital durante todo el ciclo de vida del edificio” (Penttilä, 2006 como se citó en Succar, 2008).

En este sentido Succar plantea tres ejes complementarios:

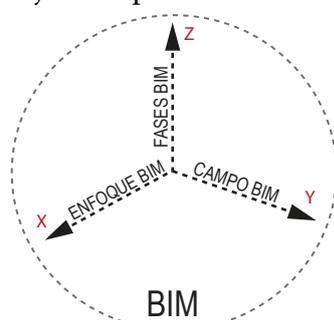


Figura 3: Dimensiones BIM, elaboración propia según Succar (2008).

### Eje X: enfoque BIM

Es conformado por el análisis multidisciplinar que incorpora el dominio y los conocimientos del campo de la arquitectura, ingeniería, construcción y las operaciones de ejecución. Esta tercera dimensión que propone Succar, basada en la profundidad de la investigación para identificar, evaluar y calificar los campos y etapas BIM, se refiere a las distintas capas de análisis aplicadas a los campos y etapas BIM para generar las ventanas de conocimiento, determina la complejidad y remueve los detalles innecesarios. Permite también enfocarse selectivamente en cualquier aspecto de la industria AEC según los objetivos del proyecto filtrando la información.

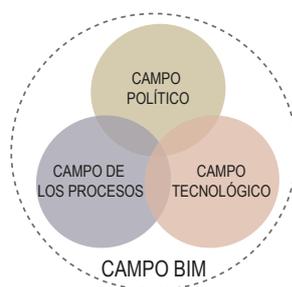


Figura 4. Interacciones, elaboración propia según Succar (2008).

### Eje Y: campos de actividad BIM

Existen tres campos de actividad BIM que se entrelazan entre sí: políticas, procesos y tecnologías. A su vez, cada uno posee dos sub-campos, actores y productos entregables.

Campo tecnológico es la aplicación del conocimiento científico con fines prácticos que agrupa a un grupo de actores que se especializa en el desarrollo de software, hardware, equipos y sistemas de trabajo en red necesarios para incrementar la eficiencia, productividad y rentabilidad de los sec-

tores de arquitectura, ingeniería, construcción y operaciones (AECO). Estos incluyen organizaciones que generan soluciones de software y equipos de aplicabilidad directa e indirecta al diseño, construcción y operación de instalaciones. Es una organización específica de las actividades de trabajo a lo largo del tiempo y espacio, con un comienzo, un final y entradas y salidas claramente identificadas en un flujo de trabajo.

El campo de procesos agrupa a los actores que adquieren, diseñan, construyen, fabrican, usan, administran y mantienen la estructura. Estos incluyen propietarios de instalaciones, arquitectos, ingenieros, contratistas, gerentes de instalaciones y todos los demás actores de la industria de AECO involucrados en la propiedad, entrega y operaciones de edificios o estructuras.

El campo de política BIM abarca los principios o reglas escritas para guiar la toma de decisiones y agrupa el grupo de actores enfocados en preparar a los profesionales, realizar investigaciones, distribuir beneficios, asignar riesgos y minimizar los conflictos dentro de la industria AECO. Estos actores no generan ningún producto de construcción, sino son organizaciones especializadas, centros de investigación, instituciones educativas y organismos reguladores que desempeñan un papel fundamental en la preparación, regulación y contratación en el proceso de diseño, construcción y operaciones. (Succar, 2008)

### Eje Z: fases de maduración BIM

Están formados por los pasos evolutivos de la metodología que delimitan los niveles de madurez del modelo. Las fases de maduración de BIM basadas en el trabajo colaborativo, inician en la etapa cero, llamada por Succar (2008) como pre-BIM hasta la etapa tres. La primera de ellas corresponde a la ausencia total de colaboración entre los usuarios del proyecto y el último nivel corresponde a la máxima colaboración entre los mismos, conociéndose a los proyectos BIM de este último nivel como proyectos de metodología iBIM (integration Building Information Modeling) debido a la gran cooperación en tiempo real entre los distintos agentes. Succar identifica las etapas múltiples que delimitan los niveles de madurez de implementación, tres etapas de madurez BIM fijas y un punto final variable que permite futuros avances tecnológicos imprevistos. La madurez BIM incluye los componentes de tecnologías, procesos y políticas y las divide en tres etapas.



Figura 5. Fases de maduración, elaborado por BIM ThinkSpace (2016) según Succar (2008).

Para medir la madurez BIM se pueden tomar varias variables. Es importante introducir al menos dos de ellas como el flujo de datos BIM y las fases del ciclo de vida del proyecto.

### Interacciones entre los campos BIM

Estos son los intercambios de conocimiento entre campos y subcampos que empujan y traccionan. Las transacciones incluyen transferencias de datos, dinámicas de equipo y relaciones contractuales entre campos y subcampos. La identificación y representación de estas interacciones son componentes importantes para generar los productos entregables.

### 2.5.1. Flujo de datos BIM

Los objetos inteligentes, que representan objetos físicos como puertas o columnas y que poseen una riqueza semántica (metadatos asociados), junto con el flujo de datos determinan una variable detectable y crítica de la madurez BIM. El flujo de datos es variado e incluye la transferencia de datos estructurados (bases de datos), semiestructurados (hojas de cálculo) y no estructurados (imágenes) entre computadores. Esta transferencia puede ser basada en archivos o como un sistema push-pull entre clientes y servidores. A su vez, el flujo de datos BIM no solo incluye la transferencia de datos con cierta riqueza semántica, sino también el intercambio de información basada en documentos.

Esta variedad en datos y métodos de transferencia entre actores BIM puede ser clasificada y medida en diversas formas para identificar la madurez BIM. Por ejemplo, los flujos de datos pueden ser un cambio o intercambio de datos BIM, siendo el primero en el momento que un actor BIM importa o exporta datos no estructurados y no computables (de dibujo 2D CAD a objetos basados en modelos 3D perdiendo geometría y metadatos asociados) y los últimos son cuando un actor importa o exporta datos estructurados y computables asumiendo una adecuada interoperabilidad entre los sistemas de transmisión y recepción (intercambio de archivos en formatos nativos y de código abierto).

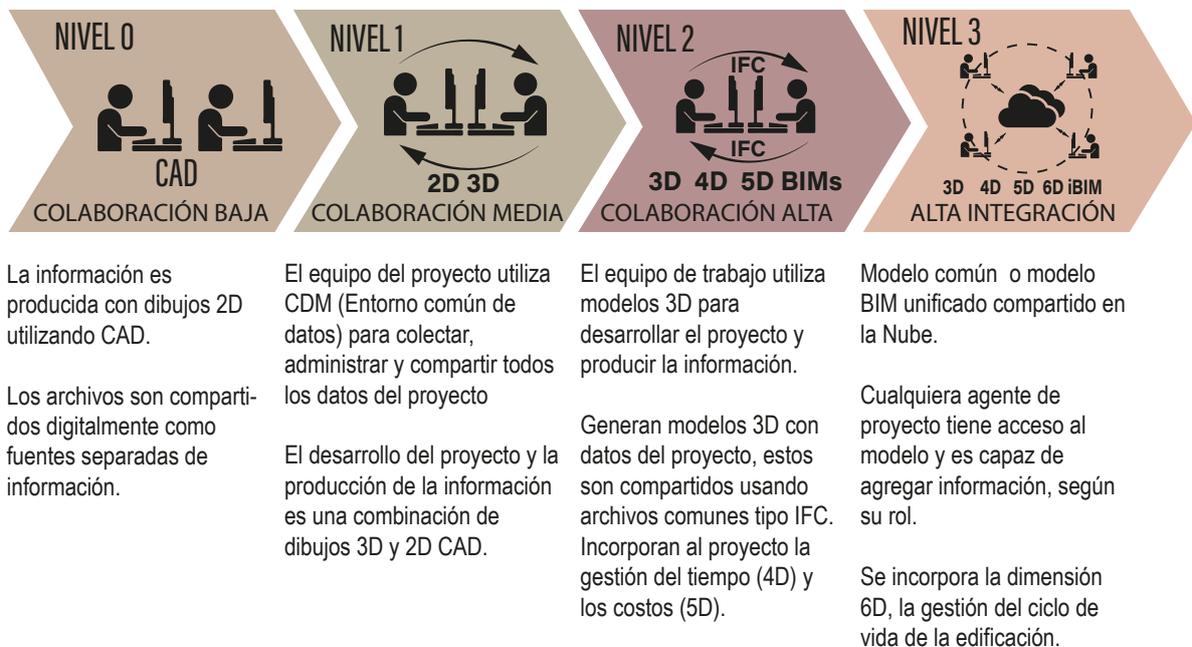


Figura 6. Niveles de maduración BIM, elaboración propia según Bew y Richards (2008).

### 2.5.2. Fases del ciclo de vida del proyecto

Los proyectos de construcción de obra nueva, según la metodología BIM, pasan por tres fases: el diseño, la construcción y la operación. Según las dimensiones BIM antes nombradas esas fases se subdividen en sub-fases que a su vez están divididas en múltiples actividades, sub-actividades y tareas

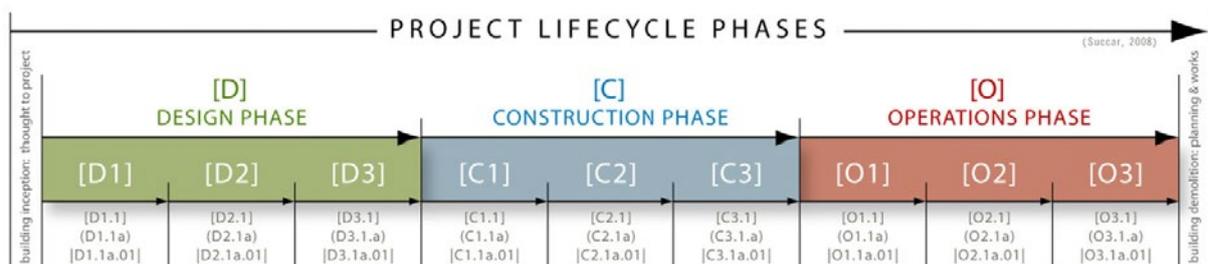


Figura 7: Fases del ciclo de vida BIM. (Succar, 2008)

### 2.5.3. Softwares BIM

Para la generación de los modelos BIM es necesario de un conjunto de softwares encargados de producir, enlazar y gestionar la información a partir de las bases de datos. El objetivo de ello es ordenar y sistematizar la diversidad de datos, logrando obtener una mirada amplia y colaborativa del proyecto en el cual se esté trabajando. En la actualidad existe una gran variedad de programas, los cuales pueden clasificarse según su funcionalidad:



Figura 8. Softwares BIM, elaboración propia.

Para la realización de un proyecto BIM, es necesario la aplicación de algunos de estos softwares, que a partir de los objetivos perseguidos generarán los diferentes productos.

#### 2.5.4. Implementación: protocolos y guías

Los estándares y protocolos BIM ayudan a normalizar los procesos de trabajo y establecen pautas para estructurar y definir la información en proyectos que se desarrollen con la metodología BIM.

Existen algunas guías en el ámbito mundial, pero en la actualidad no hay normas BIM universales, con lo cual cada país se debe encargar de generar sus propias normas y protocolos. Las primeras guías fueron desarrolladas por Estados Unidos, Inglaterra, Finlandia y Singapur, las cuales establecen un marco de referencia para el uso y el correcto modelado en BIM, constituyendo así una ayuda importante para determinar los entregables y cuál es la intención de exigir estos modelos en un proyecto. De esta manera, también se definen los nuevos roles de los profesionales que actuarán en los procesos BIM.

La norma más conocida y general que existe actualmente es del Industry Foundations Class (IFC) de BuildingSMART International Home of openBIM, una organización internacional cuyo objetivo es mejorar el intercambio de información entre las aplicaciones de software utilizadas en el entorno AEC. BuildingSMART trabaja actualmente en el desarrollo de IFC para un intercambio de información entre diferentes softwares y agentes, como también en el desarrollo de la International Frameworks for Dictionaries (IFD) y de Information Delivery Manuals (IDM), que definen los conceptos BIM y buscan un traspaso eficiente de la información entre los distintos softwares. Es importante que cada uno de estos conceptos debe estar definido y ordenado por su correspondiente norma ISO en conjunto con las guías existentes en cada país.

El National Institute of Building Sciences de Estados Unidos definió estándares en la guía National BIM Standard, la cual regula la planificación, diseño, construcción y operaciones, cubriendo el ciclo de vida completo de los edificios de obra nueva.

La guía AEC (UK) BIM Technology Protocol, redactada en Reino Unido, define y proporciona una ruta clara y concisa para la implementación de los softwares BIM. Especifica los procesos y define el BIM Execution Plan (BEP), es decir, el plan de ejecución para llevar a cabo el proyecto BIM.

En España existe la BuildingSMART Spanish y las guías uBIM adaptadas de COBIM finlandés para coordinar todas las disciplinas y mejorar la realización del modelado. Puntualmente en Cataluña existe la Guía BIM per a la Gestió de Projectes i Obres, la cual es utilizada para el desarrollo de proyectos de obra pública. Ella especifica la metodología y los procedimientos que debe seguir un proyecto BIM, define los agentes intervinientes y sus roles, los tipos de modelos que deben desarrollarse, nomenclatura de archivos y elementos, alcances y los usos que pueden abastecer sus proyectos e incluso una referencia al contenido mínimo de un BEP para proyectos. (Camilo, 2021)



Figura 9. Guía buildingSMART BIM aplicado al Patrimonio Cultural y la Guía BIM para la gestión de proyectos y obras de Cataluña.

### 2.5.5. Gestión de la información

La metodología BIM está sustentada fundamentalmente por la colaboración y para ello son necesario diversos mecanismos que aseguren el intercambio y la interoperabilidad entre los programas. Como respuesta, existen diferentes formatos de archivos universales que buscan reforzar el flujo de la información de forma eficiente entre las distintas fuentes de producción y almacenamiento. El formato de archivos más difundido en la industria del BIM es el ya referido IFC (Industry Foundation Class) desarrollado por la BuildingSMART, que representa un modelo de datos estándar y dinámico orientado a objetos. Está desarrollado para facilitar la interoperabilidad en la industria de la construcción y tiene la capacidad de transportar entre los diferentes programas toda la información referente a geometría, elementos, procesos, materiales, ubicaciones, relaciones y demás atributos.

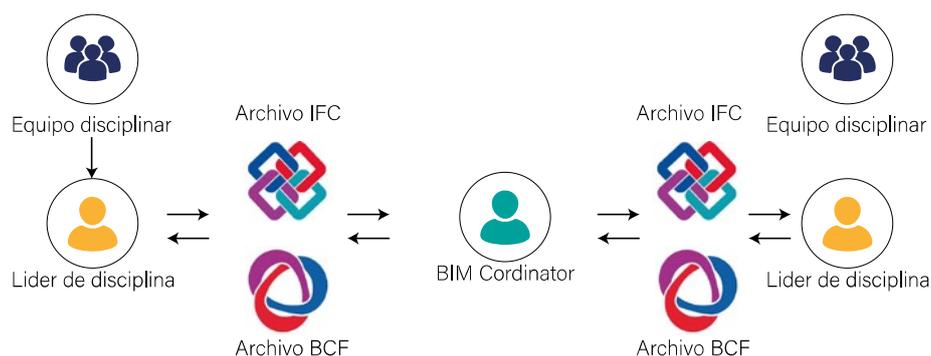


Figura 10. Colaboración BIM, elaboración propia.

#### BIM Collaboration Format (BCF)

El formato de colaboración BCF, tiene como objetivo principal simplificar la colaboración entre los diferentes agentes que trabajan en un modelo BIM, para así poder plantear observaciones o problemas, comentar y responder, siempre dentro de un formato de archivo abierto que no contenga elementos del modelo. Este, a su vez, permite que diferentes programas BIM comuniquen los problemas basados en el modelo, aprovechando los modelos IFC que fueron compartidos anteriormente entre los colaboradores del proyecto.

Los archivos BCF están basados en XML y pueden contener archivos de imagen como .PNG, coordenadas y dirección dentro de un archivo IFC del punto de captura, además de comentarios referentes a los elementos del modelo. Los problemas y comentarios están conectados a los elementos del modelo a través de ID únicos globales (GUID). (Esarte Eseverri, 2020)

#### Plug-ins

Existen otras herramientas que pueden ser necesarias para lograr una buena interoperabilidad entre los distintos softwares BIM: son los plug-ins o herramientas-complementos asociadas a las aplicaciones BIM que se han desarrollado paralelamente a los softwares de modelado para asistir a las necesidades propias de cada agente en el desarrollo de un proyecto o en acciones específicas. Tienen la función de agregar las herramientas de otros softwares sin la necesidad de exportar ningún tipo de archivo (Nieto Julián, 2014). Un ejemplo es el módulo “Presupuesto y medición de modelos de Revit”, elaborado por CYPE para la integración de las herramientas de Arquímedes dentro del entorno Revit, y/o si se desea, la exportación del archivo para trabajar directamente en la plataforma de Arquímedes. (Linares Jáquez, 2019)

## 2.6. HBIM: aplicaciones de la metodología BIM en el campo del patrimonio cultural

Para proyectos de obra nueva, BIM ofrece un marco sólido para el trabajo multidisciplinar en el proceso colaborativo de producción de información e intercambio, resultando un recurso de conocimiento confiable y compartido para ser utilizado como base para la toma de decisiones, la comunicación, planificación y consulta. Por otro lado, BIM aplicado específicamente al patrimonio es un campo relativamente nuevo, en vías de desarrollo, siendo que en los últimos años se ha evidenciado su crecimiento con el aumento del número de investigaciones académicas, estándares, softwares y además de prácticas profesionales desarrollados (buildingSMART Spanish Chapter, 2018). Algunas de las ventajas identificadas, como informa Nieto Julián E., son que:

“Con el uso del BIM podemos generar un modelo empírico destinado al patrimonio arquitectónico y arqueológico derivado de la aplicación de técnicas innovadoras para la toma de información geométrica y de las propiedades físicas de los materiales. Siempre con la intención de centralizar toda la información recabada en un único modelo de información tanto gráfica como alfa numérica. Así se conforma un proyecto de intervención sustentado en un modelo de información del edificio histórico que podemos denominar proyecto HBIM. Un proyecto que permitirá una total transparencia de los conocimientos y la transferencia de los mismos y que determinará una interdisciplinariedad eficiente.” (Nieto Julián E. , 2019)

BIM aplicado al patrimonio cultural es un proceso multidisciplinario que requiere el aporte y la colaboración de profesionales con habilidades muy diversas como arquitectos, ingenieros, historiadores, antropólogos, arqueólogos, geólogos, etc. Haciendo referencia a la metodología en sí, como también a las herramientas destinadas a crear un sistema de información digital de un edificio u objeto que esté asociado a su documentación gráfica. El resultado final en muchos casos es un modelo virtual donde se centraliza toda la información, facilitando así la gestión colaborativa del proyecto multidisciplinario entre los diferentes agentes intervinientes.

El concepto de modelo de información aplicado a construcciones históricas (HBIM) es, como decíamos bastante reciente: fue desarrollado específicamente en el año 2009 por Murphy, McGovern y Pavia. A diferencia de la metodología BIM convencional, donde los elementos en su mayoría tienden a ser estandarizados y con parámetros globales compartidos, HBIM es una solución mediante la cual los elementos paramétricos que representan objetos arquitectónicos se construyen a partir de datos históricos. Estos elementos existentes se mapean con exactitud basados en una nube de puntos y/o un levantamiento de imágenes.

En otra etapa del proceso son generadas las bibliotecas paramétricas de objetos históricos con los datos del levantamiento para trabajar en el modelo global del proyecto. El conocimiento histórico de la arquitectura, así como el conocimiento de la geometría son esenciales para la creación de objetos o elementos arquitectónicos paramétricos.

Finalmente, las bibliotecas de objetos paramétricos se mapean en la nube de puntos junto con los datos del levantamiento e imágenes mediante la utilización de un software de gestión de datos que asegure el cruzamiento de las informaciones, generando así una base de datos dinámica. Como resultado, tenemos modelos inteligentes que pueden contener y gestionar la información, como también la creación de la documentación gráfica completa, ortofotos, secciones, alzados y vistas 3D, las cuales son generadas semi-automáticamente a partir de la información del edificio histórico. (Murphy, McGovern y Pavia, 2009)

El proceso HBIM implica una solución de ingeniería inversa mediante la cual los objetos paramétricos que representan elementos arquitectónicos se mapean basados en un escaneo láser o datos de levantamientos fotogramétricos. (Dore y Murphy, 2012)

En la actualidad HBIM no se limita solo a la generación de un modelo virtual paramétrico, sino que también se suma la gran variedad de datos interdisciplinarios, siempre desarrollados en un ámbito de trabajo colaborativo que facilite la interoperabilidad, intercambio y almacenamiento de los datos relevados entre expertos en las diferentes plataformas de software BIM.

Otras aplicaciones desarrolladas de la metodología HBIM en los últimos años tienen que ver con la capacidad de convertir las nubes de puntos generadas en los escaneos 3D a superficies malladas y volúmenes 3D, pareciendo estas últimas todavía un desafío. El objetivo potencial está en el uso de las tecnologías de Realidad Virtual y Realidad Aumentada principalmente con fines de difusión del patrimonio, como también estar cada día más cerca de modelos virtuales más cercanos a la realidad.

Los proyectos en el sector del patrimonio, como pueden ser la restauración, rehabilitación y la conservación, se benefician de la adopción de HBIM y de los procesos de trabajo colaborativo, adquiriendo mayor eficiencia, reducción de costes y mejor planificación. La tecnología BIM permite una mejor coordinación y evaluación espacial de opciones de diseño en varios escenarios - esta posiblemente más importante en el caso del patrimonio histórico, donde cualquier cambio en el tejido histórico debe ser cuidadosamente considerado y justificado. (Historic England, 2017)

Además, la metodología permite aún la integración estructurada de la información geométrica y la no geométrica, incluidos los valores tangibles e intangibles, así como documentos externos en un solo modelo, convirtiéndose en un eje central para toda la información relativa a un bien patrimonial. También permite simular el comportamiento de un edificio histórico en diversos escenarios, visualizar diferentes opciones de diseño, además de, fornese informaciones sobre la construcción, sus patologías, materiales originales, técnicas constructivas y estratigrafías. Otras aplicaciones potenciales radican en la planificación, gestión, mantenimiento preventivo, generación de la documentación, investigación y difusión. BIM, así, ofrece herramientas para estas actividades a través de la colaboración digital y gestión eficiente de la información.

Los procesos de trabajo colaborativo y BIM pueden ser aplicados en una amplia gama de proyectos patrimoniales que involucran bienes históricos de diferente edad, tipo y estilo. Algunos tipos de edificios o estilos arquitectónicos son más compatibles con BIM que otros, en términos de modelado, sobre todo cuando existe repetición de los componentes - a diferencia de lo que sucede con formas geométricas que tienden a ser complejas, como por ejemplo una bóveda de crucerías. En este sentido, los edificios de arquitectura neoclásica, industrial y modernista del siglo XX suelen ser más compatibles a la hora de trabajar en HBIM. Otros tipos de bienes, como los de arquitectura medieval y vernácula o sitios arqueológicos, pueden presentar mayor dificultad, pero no por eso es imposible trabajar con ellos. (Historic England, 2017)

Algunas de las aplicaciones potenciales de BIM en el patrimonio, que pueden variar de acuerdo con el alcance y el propósito de un proyecto, e incluyen:

- Generación de un repositorio de información para actividades de documentación y registro;
- Planificación de la conservación;
- Generación de informes sobre el estado de conservación;
- Herramienta de gestión del patrimonio;
- Construcción de base de datos, para futuras investigaciones e intervenciones;
- Conservación y Mantenimiento preventivo;
- Gestión del bien (tanto a nivel estratégico cuanto operativo del día a día);
- Interpretación y difusión del patrimonio;
- Gestión de visitantes;
- Programación de tareas (conservación, reparación, mantenimiento y reutilización);

### 2.6.1 Dimensiones de la información en BIM

Podemos considerar que los modelos BIM están compuestos por diferentes dimensiones, y esto quiere decir que, según el tipo y complejidad de la información que posean, existen diversas instancias. Por ejemplo, en un proyecto BIM convencional en el cual fueren aplicadas todas las fases, podemos hablar de 7 dimensiones: las primeras dos dimensiones se refieren a las etapas iniciales de investigación, planeamientos, implementación y carga de datos en los softwares y las siguientes son las encargadas de darle más profundidad al modelo, en consecuencia, sumarle complejidad. La dimensión 3D conlleva una representación tridimensional de toda la información geométrica y la carga de datos no geométricos. En este sentido, hablamos de un modelo colaborativo que contempla todas las infraestructuras existentes. En la 4D se suman la planificación y gestión del tiempo, esto quiere decir, la planificación de las fases y tareas del proyecto. La dimensión 5D tiene por objetivo reflejar los costes del proyecto, la 6D refiere al comportamiento energético y a la sustentabilidad y, por último, la 7D trata de la gestión del ciclo de vida del edificio.

### 2.6.2 Dimensiones de la información en HBIM

Estos conceptos llevados al campo patrimonial necesitan ser adaptados, ya que en la mayoría de los casos nos encontramos con edificios terminados y no con proyectos de obra nueva. Por lo tanto, el modelo HBIM puede incorporar el levantamiento analítico (3D), evolución histórica (4D), diagnóstico (5D), contexto cultural (6D) y los proyectos de conservación e intervención (7D). HBIM trasciende la mera caracterización geométrica del patrimonio y ofrece un instrumento eficaz para la gestión sostenible. (Castellano Román y Pinto Puerto, 2019)



Figura 11. Dimensiones HBIM. (Castellano Román & Pinto Puerto, 2019).

### 2.6.3. Marco teórico de referencia HBIM

Considerando los conceptos expuestos por Succar (2008) anteriormente, estos pueden ser aplicados con la misma lógica para fundamentar la metodología HBIM, siendo adaptados con el rigor que merecen los edificios históricos. De esta manera, podemos afirmar que un modelo HBIM está compuesto por el conjunto de los campos, fases y enfoques. Los campos son las políticas, procesos y tecnologías, los cuales interactúan entre sí condicionando las fases y los enfoques del proceso. Las fases del modelo, a su vez, son adaptadas según el ciclo de vida de los bienes patrimoniales determinado por los objetivos.

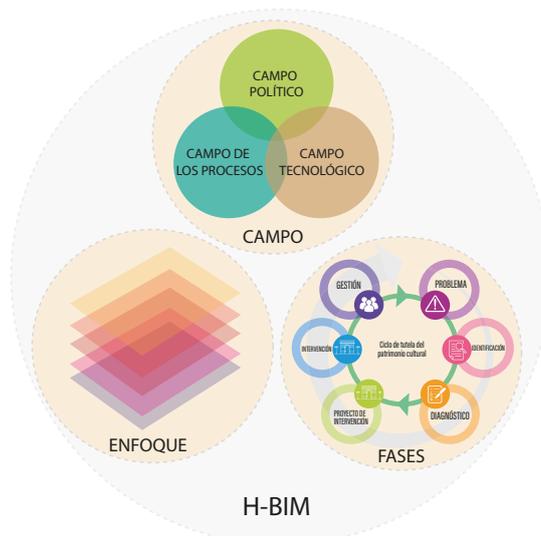


Figura 12. Marco de referencia H-BIM, elaboración propia según Succar (2008).

Los campos están formados por las políticas, tecnologías y procesos. El campo político compuesto por los protocolos, guías y legislaciones específicas del área patrimonial; el campo de los procesos comprendido por el conjunto de los actores o agentes que intervienen y sus objetivos (arquitectos, arqueólogos, ingenieros, antropólogos, etc.); y el campo tecnológico está ligado a las tecnologías utilizadas - hardware/ software (escáner láser, servidores de almacenamiento de datos offline/online, etc.) - implicando así todo el universo tecnológico necesario para su aplicación. En relación con los campos propuestos por Succar para la metodología BIM, Salvador Garcia (2020) profundiza considerando que, dentro del marco político, relacionado con la conservación del patrimonio se puede abordar desde una dimensión técnica, legal y social (figura 13):

“La dimensión técnica de la conservación del patrimonio es el conjunto de acciones que desarrollan los diversos profesionales en materia de conservación para conocer y proteger físicamente los recursos culturales. La dimensión legal permite que se apliquen especiales medidas legales para la protección y salvaguardia de los bienes. La dimensión social trata de que el público se apropie y sienta como suyo el patrimonio gracias a facilitar el conocimiento y el acceso público a los ciudadanos con el fin de promover el interés social por la conservación del patrimonio.

Este marco político, técnico, legal y social actual en materia de conservación del patrimonio reúne las condiciones adecuadas para alcanzar una apropiada conservación del patrimonio arquitectónico.” (Salvador García, 2020)



Figura 13. Dimensiones de la conservación del patrimonio. (Salvador García, 2020)

Otra parte fundamental de la metodología está comprendida por las fases del proyecto, que deben ser adaptadas según la complejidad de los edificios patrimoniales. De forma simplificada, podemos distinguir seis fases: detección del problema, identificación, diagnóstico, proyecto de intervención, intervención y gestión.

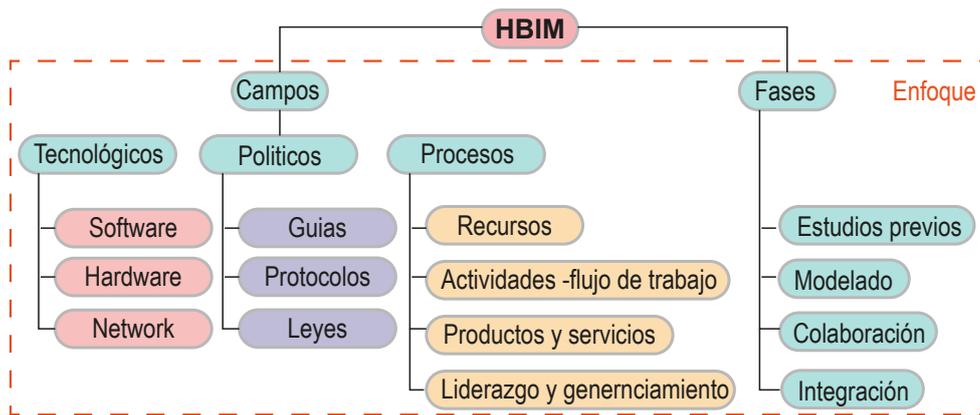


Figura 14. Diagrama de orden de los procesos en HBIM, elaboración propia basado en la tesis doctoral de Jordan Palomar (2019)

#### 2.6.4. Ciclo de vida de un proyecto HBIM

La complejidad de los trabajos de restauración y conservación precisan de metodologías precisas y de un cierto orden y, por eso, es esencial la creación de lineamientos específicos sobre este campo de acción. Esta necesidad se trasladó a HBIM, por lo tanto, en los últimos años se han elaborado diferentes modelos de orientación para la práctica de la metodología, los cuales enfatizan en la organización del ciclo de vida y el flujo de trabajo de proyectos aplicados al patrimonio cultural.

Según es.BIM, el ciclo de vida de un proyecto está compuesto por una serie de fases por las que atraviesa el mismo desde su inicio hasta su cierre. Donde las fases son generalmente secuenciales, sus nombres y números se determinan en función de las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación. Las fases pueden ser divididas por objetivos funcionales o parciales, resultados o entregables intermedios, hitos específicos dentro del alcance global del trabajo o disponibilidad financiera. Estas son generalmente acotadas en el tiempo, con un inicio y un final o punto de control.

El ciclo de vida de un proyecto puede documentarse dentro de la metodología HBIM, siendo necesario determinar las fases del proyecto sobre la base de los aspectos únicos de las necesidades, la organización, de la industria o de la tecnología empleada. Mientras que cada proyecto tiene un inicio y un final definido, los entregables específicos y las actividades que se llevan a cabo variarán ampliamente dependiendo del proyecto. El ciclo de vida proporciona el marco de referencia básico para dirigir el proyecto, independientemente del trabajo específico involucrado. (Project Management Institute, 2013).

#### 2.6.5. Desarrollo de protocolos basados en el orden de los procesos HBIM

Existen antecedentes de diferentes diagramas cíclicos que dieron origen al ciclo de vida de las edificaciones patrimoniales en las cuales basamos este trabajo. El primer antecedente sirvió de referencia para el desarrollo de los protocolos actuales, el cual se desarrolló en 2012 en la Construction Industry Council (CIC), el foro de Reino Unido que representa a profesionales, organizaciones de investigación y empresas de la construcción. Este desarrolló un primer diagrama cíclico para los proyectos BIM, que estaba formado por tres fases principales: diseño, construcción y uso.

Posteriormente en 2016, el consejo de formadores en restauración del patrimonio conocido como COTAC desarrolló el informe BIM4C Integrating HBIM Framework Report, el cual recopiló los principios del diagrama del CIC (fig. 15), sumando diferentes documentos de cinco organizaciones dedicadas al patrimonio, resultando así en el “Diagrama cíclico de COTAC HBIM”. Principalmente este diagrama se basó en la Education and Training Guidelines de ICOMOS, la norma BS7918: 2013, la Guide to conservation of historic buildings, the application of Historic England Conserva-

tion Principles Policies and Guidance of 2008 y UNESCO Disaster Risk Management Cycle. Este modelo incorpora procesos y nuevos agentes específicos de la conservación del patrimonio, como restauradores, contratistas de la conservación y el soporte de especialistas.

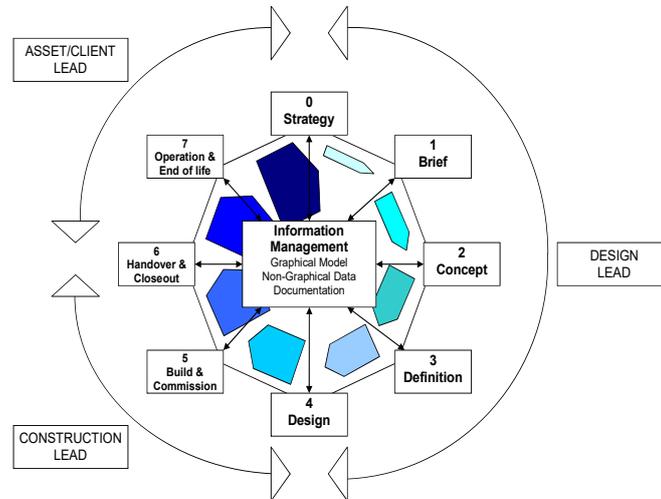


Figure 15. Construction Industry Council (CIC) Building Information Modelling (BIM) Cyclical Diagram.

En 2017, la Historic England publicó “BIM for Heritage”, esta guía define los conceptos de HBIM, sus beneficios, cómo administrar los datos BIM, cómo poner en servicio HBIM, además de describir diferentes casos de aplicación de HBIM. Propone un diagrama de procesos con diferentes fases (fig. 16) y puede considerarse la definición de LOD en HBIM como una de las contribuciones más importantes de esta guía. (García-Valdecabres et al, 2018)

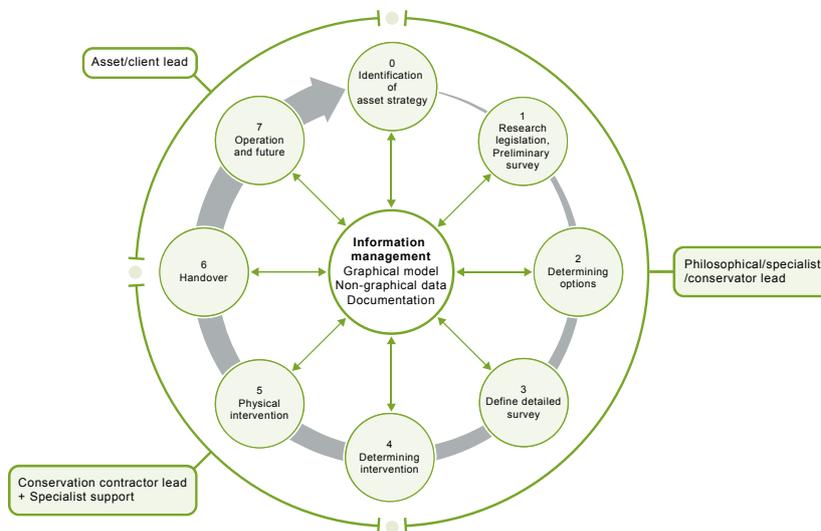


Figura 16: HBIM Principio del ciclo de vida, adaptado de Construction Industry Council (CIC): diagrama cíclico de BIM para reflejar mejor los procesos de conservación.

En el artículo “Protocol to Manage Heritage Building Information Modelling (HBIM)”, los autores de este, proponen un protocolo basado en los modelos antes citados, BIMlegacy, destinado a respaldar la adopción de HBIM en intervenciones patrimoniales. El mismo fue desarrollado sobre la base del Diagrama Cíclico BIM CIC e incluyen tres capas de desarrollo, A, B y C; cada capa va aumentando su nivel de detalle progresivamente compuesto por ocho fases cronológicas. La capa A fue diseñada para ser claramente comprensible para todas las partes interesadas y la capa B (Fig. 17) contiene todos los pasos de cada fase del ciclo de vida. Describe todas las fases del protocolo y su estructura es circular, teniendo en el centro el modelo BIM y la plataforma BIM.

BIMlegacy propone que la información debe estar alojada en línea, ya que las partes interesadas del patrimonio generalmente no trabajan en el mismo espacio. La comunicación entre los modelos HBIM y las bases de datos de historiadores y arqueólogos deben ser diseñadas para ser unificados en tiempo real. En este espacio en línea, las partes interesadas tienen un sector de trabajo para compartir datos. (García-Valldecabres et al, 2018)

Entre los aportes se distingue: el desarrollo de las fases, la detallada definición de LOD para cada fase, los procesos específicos relacionados con las intervenciones en edificios históricos, la representación de patologías en la fase 1, la definición de la evolución histórica del edificio en la fase 2 y la participación de la comunidad con el patrimonio utilizando HBIM como recurso gráfico en la fase 8. Por último, hay también la definición de las partes interesadas específicas, como el restaurador, el arqueólogo, el inspector autónomo o el archivero y sus relaciones con los procedimientos de HBIM. (Linares Jáquez, 2019)



Figura 17. BIMlegacy-3, capa B, información general HBIM. (García-Valldecabres et al, 2018)

Otras aportaciones son profundizadas en la tesis doctoral de Isabel Jordán Palomar (2019), la cual desarrolla un diagrama detallado (fig. 18) acerca de los procesos HBIM a partir de la clásica división del concepto de BIM (tecnología, procesos y políticas), incorporando los campos patrimoniales y las etapas propias de patrimonio - como, por ejemplo, los estudios previos, la utilización de la nube de puntos para documentar el edificio y el modelado de todas las disciplinas en un modelo coordinado (arquitectura, arqueología y restauración). (Jordán Palomar, 2019)

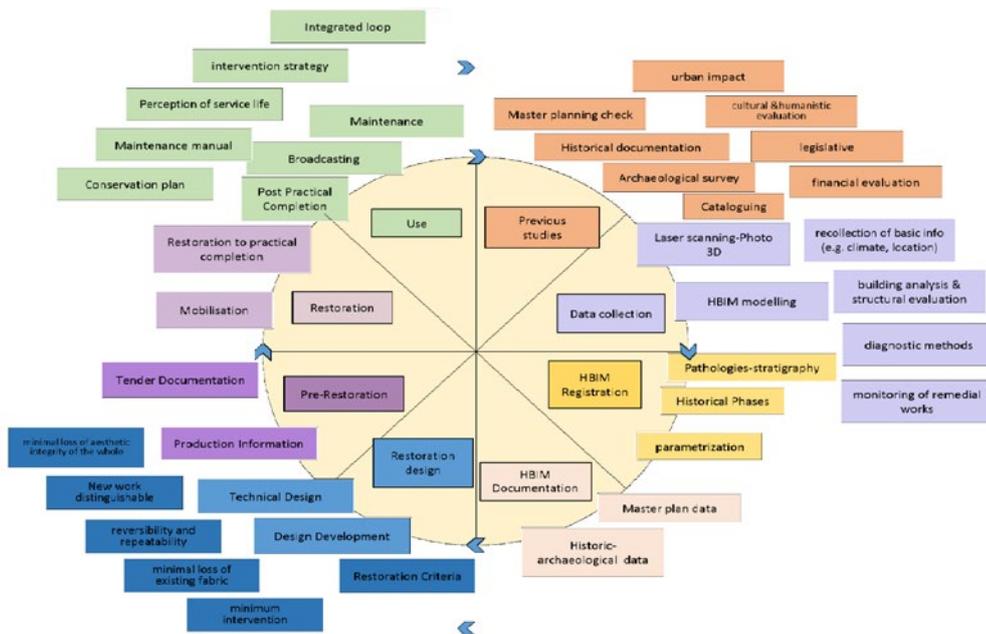


Figura 18. Procesos y criterios de ordenación del diagrama de flujo de trabajo de Historic England, 2017. (Jordán Palomar, 2019)

En 2018 la buildingSMART Spanish Chapter desarrolló la guía BIM aplicado al Patrimonio Cultural para adaptar HBIM a las necesidades de los proyectos del patrimonio español. Esta toma como referencia los informes: “Historic England, 2017 BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model” y la “Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention” de la UNESCO, afirmando que la metodología BIM ayuda a sistematizar el desarrollo de investigaciones, tareas de conservación preventiva y proyectos de intervención en el patrimonio construido. Introduce los principios de la metodología BIM en los programas de actuación del patrimonio cultural y, así, propone una estructura que contempla distintas fases de trabajo. Remarca, en este sentido, que el orden de las acciones no tiene por qué ser el mismo en todos los casos, ya que el modelo debe adaptarse según los objetivos, y aún agrega que no se puede ignorar la realización de los trabajos de investigación y diagnóstico para, a partir de aquí, decidir cuáles serán los siguientes trabajos por desarrollarse y su orden (intervención, conservación preventiva, difusión, etc.). (buildingSMART Spanish Chapter, 2018)

La guía buildingSMART define las siguientes etapas y fases dentro de un proyecto HBIM:

- Etapa de investigación y diagnóstico
  - Fase 1: Definición de objetivos y planificación
  - Fase 2: Análisis interdisciplinar
  - Fase 3: Generación del modelo BIM
  - Fase 4: Diagnóstico
- Etapa propuesta de intervención
- Etapa ejecución de obras de intervención
  - Fase 0: Análisis, revisión y uso de la información del proyecto
  - Fase 1: Actualización de la información del proyecto durante la ejecución de la obra
  - Fase 2: Planificación y seguimiento de la intervención
  - Fase 3: Identificación y trazabilidad de los controles de calidad, ensayos e informes complementarios
  - Fase 4: Generación del modelo “As Built”
- Conservación preventiva
- Difusión cultural

Por último, la tesis doctoral de Isabel Jordan Palomar (2019) propone un Plan de Ejecución BIM (BEP) aplicado a proyectos patrimoniales en donde busca alinear los procesos, recursos y grupos de interés. Este plan está condicionado por los objetivos del proyecto, con lo cual es un modelo de referencia adaptable. Basado en los ciclos de vida de un proyecto patrimonial se divide en 7 fases, en donde se describen las tareas correspondientes a cada una de ellas.

- Fase 1 Estudios preliminares
- Fase 2 Registro HBIM
- Fase 3 Documentación HBIM
- Fase 4 Diseño
- Fase 5 Pre-intervención
- Fase 6 Intervención
- Fase 7 Uso

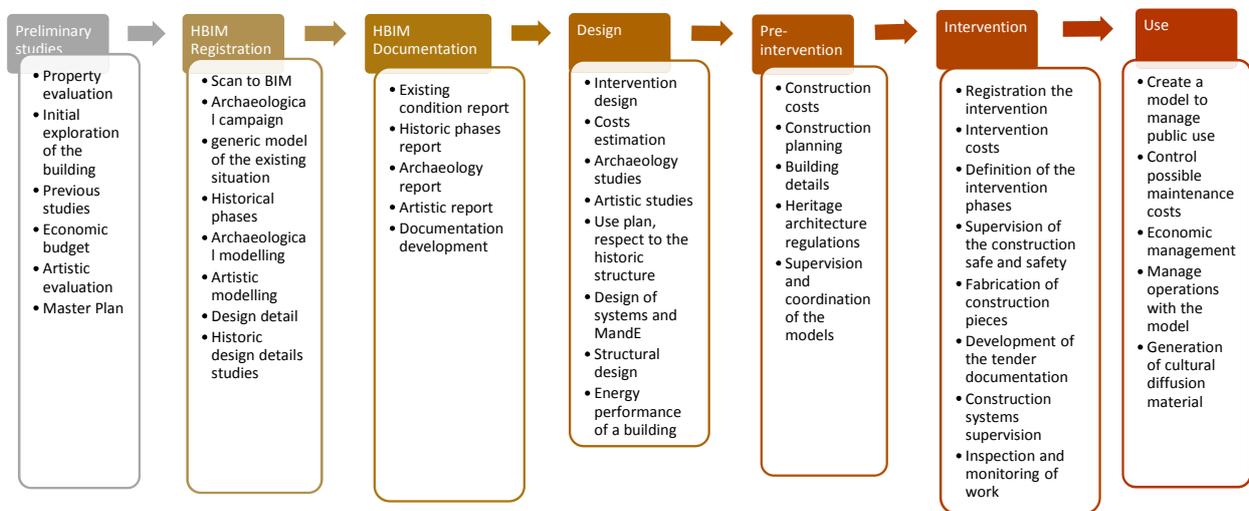


Figura 19: HBIM BEP para BIMlegacy protocol-3, capa C, usos de HBIM para las fases del ciclo de vida. (Jordan Palomar, 2018)

1. ESTUDIOS PREVIOS	2. REGISTRO HBIM	3. DOCUMENTACIÓN HBIM	4. DISEÑO INTERVENCIÓN	5. PRE-INTERVENCIÓN	6. INTERVENCIÓN	7. USO
Evaluación de la propiedad, gestión del bien y uso	Toma de datos	Informe de estado actual	Evaluación de la normativa	Estimación de costes de intervención	Registro de la intervención	Desarrollo del modelo para gestión del uso del monumento
Exploración inicial del bien	Campaña arqueológica	Informe de fases históricas	Diseño de la intervención	Planificación de fases de obras	Estimación de costes de intervención	Valoración de costes del uso y mantenimiento
Estudio de la información existente	Consolidación del edificio	Informe arqueológico	Estimación de costes de intervención	Definición de los sistemas constructivos y técnicas definitivas	Definición de fases de intervención	Gestión del mantenimiento
Viabilidad económica	Modelado estado actual	Informe artístico	Propuesta de intervención arqueológica	Programación de usos de espacios y SS en obra	Supervisión de usos de espacios y SS en obra	Gestión económica
Valoración social y cultural del proyecto	Hipótesis de fases históricas	Supervisión y coordinación de modelos	Propuesta de intervención artística	Desarrollo de la documentación necesaria	Prefabricación de elementos singulares	Gestión del uso y recursos de los espacios
Estudio de archivos	Modelado arqueológico	Desarrollo documentación necesaria	Evaluación del programa	Supervisión y coordinación de modelos	Desarrollo de la documentación necesaria	Información para los servicios de emergencias
Evaluación histórica	Modelado artístico		Análisis de eficiencia energética		Supervisión de sistemas de intervención	Generación materiales de divulgación
Análisis del Plan Director	Estudios de sistemas de construcción históricos		Diseño y análisis estructural y de instalaciones		Seguimiento de obra	
Desarrollo de la documentación necesaria	Estudio del entorno del monumento		Definición de fases de intervención		Desarrollo documentación necesaria	
	Evaluación y cumplimiento de la normativa		Evaluación del cumplimiento de los requisitos de diseño			
	Supervisión y coordinación de modelos		Supervisión y coordinación de modelos			
			Control de calidad del diseño			
			Información para intervención			

Figura 20: Procesos HBIM por fases. (Jordan Palomar, 2020)

## 2.6.6. Retos y procesos de HBIM en la actualidad

Existen diversas discusiones actuales sobre la implementación de la metodología HBIM aplicada a las edificaciones históricas, y estas pueden ser clasificadas a partir de los problemas que surgen a la hora de poner en práctica el método.

La mayoría de los modelos HBIM inician de un levantamiento, de escaneo láser y/u ortofotos digitales, siendo en este momento cuando surgen los primeros obstáculos, principalmente basados en cómo convertir la gran cantidad de datos proveniente de la nube de puntos en un modelo HBIM, utilizando el proceso más eficiente y que demande el menor tiempo. Esto de tal manera que sea posible analizar, segmentar y convertir la nube de puntos de forma automatizada en formas cerradas reconocibles por programas BIM, a las cuales se le puedan asociar parámetros.

Dentro de esta rama podemos distinguir tres variables: scan to mesh, scan to voxels y scan to 3D. La primera tiene que ver con la conversión de los puntos de la nube en malla, lo que se realiza a través de la triangulación de puntos con algoritmos específicos que unen los mismos basándose en los puntos más cercanos y en su área de influencia. Esto es utilizado con el fin de generar geometría partiendo de la nube de puntos. Una segunda variante está relacionada con el análisis estructural y térmico de los edificios donde se necesita de elementos de masa, para ello se utilizan los llamados voxels o cajas que de forma virtual reconstruyen un volumen aproximado a la forma original. Por último, y de utilidad específica para HBIM, está la conversión de la nube de puntos en formas sólidas 3D asimilables con los elementos constructivos, una tecnología todavía en desarrollo. Existen variados artículos que describen el flujo de trabajo de este proceso, y el resultado final consiste en generar formas geométricas cerradas para la aplicación de parámetros en BIM con una alta calidad - técnica que es también conocida como “scan to BIM”.

En los últimos años se han estado desarrollando varias metodologías con el objetivo de convertir la nube de puntos resultante de escaneos láser 3D con la ayuda de inteligencia artificial en formas reconocibles a las cuales se le pueda vincular atributos y parámetros. Pero, todavía no se ha llegado a un resultado optimizado aunque existen diferentes investigaciones acerca de la automatización de los procesos - o sea, la autodetección de superficies cerradas a partir de una nube de puntos con utilidades, por ejemplo, en el estudio estratigráfico de las edificaciones históricas.

Existen también investigaciones ligadas a la gestión del patrimonio a partir de la utilización de lenguajes de programación en entornos BIM para lograr una gestión inteligente de los bienes patrimoniales. Para alcanzar esto, se relacionan diferentes parámetros con sensores y estos buscan medir, por ejemplo, capacidad de carga, confort de los espacios, seguridad, etc.

Por último, dentro de la gestión del patrimonio, precisamente con aplicaciones para la difusión, están evolucionando rápidamente los usos de la realidad virtual (VR) y realidad aumentada (RA) aplicados en los modelos HBIM, como también la creación de aplicaciones.

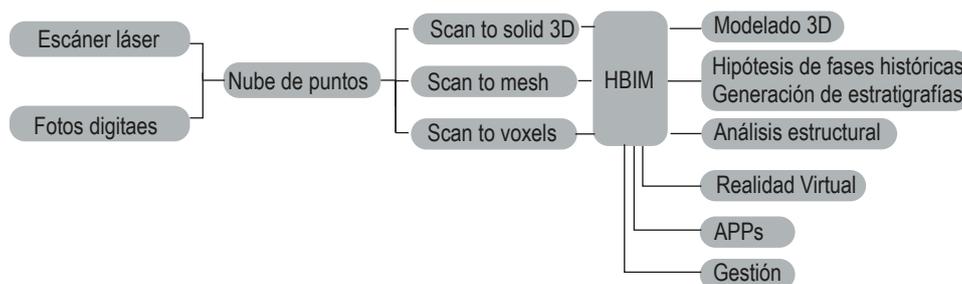


Figura 21. Líneas actuales de investigaciones en desarrollo sobre HBIM, elaboración propia.

### 2.6.6.1. Las primeras experimentaciones de Scan to HBIM: el Cenador Carlos V del Real Alcázar de Sevilla

A continuación, tomamos de referencia una serie de experiencias que describen las diversas aplicaciones de la metodología HBIM en el Cenador Carlos V, especialmente la transformación de los datos productos de levantamientos con escáner láser y ortofotos digitales. Nieto Julián (2013) realizó una serie de investigaciones junto a otros autores (Nieto Julián, J., Moyano Campos, J., Rico Delgado, F., y Antón García, D.) y la primera fue publicada en el 1er Congreso Nacional BIM - EUBIM 2013 realizado por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia. En esta publicación se expusieron los primeros acercamientos sobre la creación de geometría de elementos constructivos con la metodología HBIM, encontrándose con algunos problemas de implementación como citamos a continuación:

“Las distintas alternativas de software actuales bajo el entorno BIM, suelen incorporar herramientas de diseño para el modelado de elementos propios de sistemas constructivos –forjados, pilares, vigas, cubiertas y una infinidad de objetos paramétricos enfocados a la representación de piezas arquitectónicas, perfilерías normalizadas y elementos de sistemas tecnológicos patentados o preestablecidos- que nos facilitan el trabajo de la construcción del modelo. Por el contrario, en el caso del levantamiento de un edificio patrimonial, tendríamos que remontarnos a técnicas constructivas no habituales en la actualidad o que incorporan ornamentos propios de estilos arquitectónicos muy anteriores a los actuales.” (Nieto Julián et al., 2013)

Siendo así, los autores no pudieron aplicar las herramientas de diseño o construcción habituales que son utilizadas en las edificaciones actuales, teniendo que optar en algunos casos por generar una geometría que representase fielmente los elementos constructivos del Cenador, como es el caso de los elementos decorativos de capiteles y columnas. Esto fue solucionado, por ejemplo en el caso de los capiteles, se realizó el recorte de la nube de puntos, y seguidamente con la utilización de software se limpió y se unificó conformando así una malla 3D. (Nieto Julián et al., 2013)

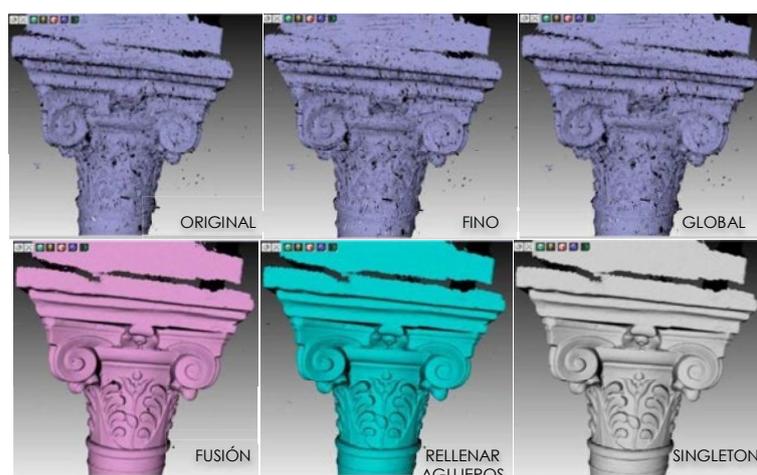


Figura 22: Procesamiento de la información geométrica del capitel. (Nieto Julián et al., 2013)

De esta forma, después de convertirlos en malla de triangulación 3D, se logró la inserción de la malla en el modelo BIM, en este caso utilizando ArchiCAD. Este tipo de soluciones propuestas fueron el inicio de la parametrización de los objetos con geometría compleja de los edificios patrimoniales. En la actualidad ya existen diversos programas (Agisoft Metashape, Photoscan, PIX4D, etc.) que logran convertir automáticamente, en pocos pasos, la nube de puntos en mallas coherentes de alta calidad.

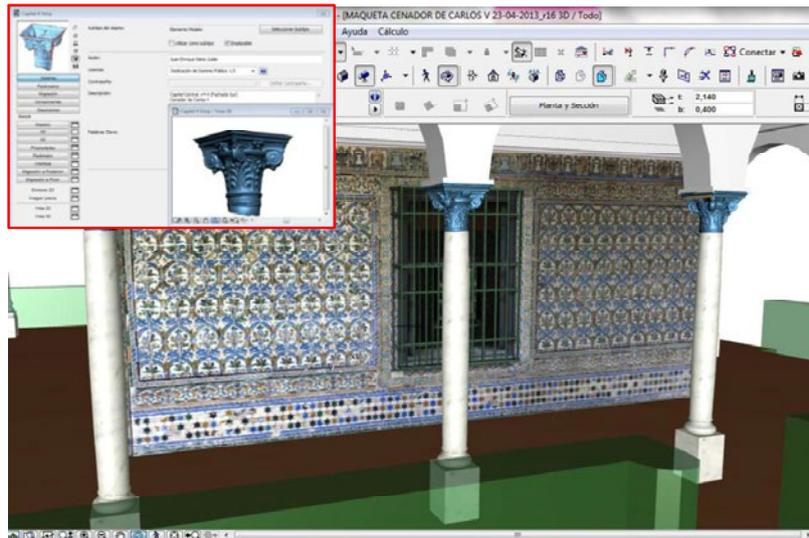


Figura 23: a) Ventana de edición de los parámetros del objeto Capitel b) Inserción de los capiteles en el modelo del Cenador de Calor V. Software Achicad v16. (Nieto Julián et al., 2013)

Nieto Julián, en una publicación posterior del año 2014 expuso un método de modelado para el Cenador Carlos V, el cual se inició con el escaneo del edificio. Una vez procesada la nube de puntos, fue seccionada para la generación de plantas, secciones y ortofotos de manera semi-automática. En este caso el objetivo del proyecto era obtener el modelo geométrico del edificio con fines de analizar y conocer el proceso constructivo en relación con su arquitectura y arqueología.

Una vez extraídas de la nube de puntos las referencias para el modelo, se procedió a su construcción en el software ArchiCAD con el auxilio de las vistas de planos vinculadas en formato pdf, las cuales fueron generadas a partir de la nube de puntos en CAD. Este resultó un trabajo manual de detección de bordes y superficies, muy alejado de una solución programada sistemáticamente. (Nieto, Moyano y Fernández-Valderrama, 2014)



Figura 24: Sección 3D modelado con y comparativa del muro sobre el faldón de cubierta del modelo con la imagen de referencia en ArchiCAD 16/17. (Nieto Julián et al., 2014)

Estas publicaciones dieron a conocer algunos de los problemas que existía en la implementación y la falta de protocolos a la hora de proceder a aplicar la metodología.

## 2.6.6.2. La gestión del patrimonio construido a través del proyecto

En un artículo del año 2016, Nieto Julián, Moyano Campos, Rico Delgado y Antón Garcia, estudiaron el flujo de trabajo para la generación del modelo HBIM, en el cual desarrollan un protocolo de aplicación basado en su experimentación con el Cenador Carlos V del Alcázar de Sevilla. Para ello distinguen las siguientes etapas:

**Recopilación de información:** en una primera etapa se recopila información relacionada con la geometría, policromías, métodos constructivos y mantenimiento.

**Clasificación de los elementos:** como segundo paso, todos los elementos se organizan en categorías y se insertan en el modelo. De esta manera, la clasificación en categorías (tipología, función estructural, posición y estado de rehabilitación) de cada elemento mostrado en el modelo contribuye al HBIM. Posteriormente a este proceso, se lleva a cabo la identificación de cada objeto paramétrico. Se aplica un identificador de característica (ID) relacionado con las piezas de construcción clasificadas. El propósito de estos investigadores es reconocer y agrupar los elementos específicos de cada disciplina involucrada en el proceso de restauración y facilitar la representación en estos elementos en dibujos específicos de la disciplina.

**Gestión de datos:** para ello se requiere un proceso de filtrado para mostrar la información del modelo en etapas que representen la evolución temporal y constructiva del edificio. Este proceso se realiza utilizando herramientas específicas del software Archicad.

Los autores realizan un diagrama de flujo (Figura 25) que describe el proceso para desarrollar un HBIM avanzado. Esto implica dos fases distintas. En primer lugar, una encuesta para recopilar datos en 3D mediante el escaneo láser y la fotogrametría (Murphy et al. 2009). En segundo lugar, el desarrollo de un modelo de información edilicia para la gestión del patrimonio arquitectónico. La propuesta principal de esta investigación establece tres niveles de actuación: el mencionado levantamiento para ajustar las imágenes al modelo mediante rectificación fotogramétrica; la identificación y catalogación de piezas irregulares; y finalmente la gestión de la información. (Nieto Julián et al., 2016)

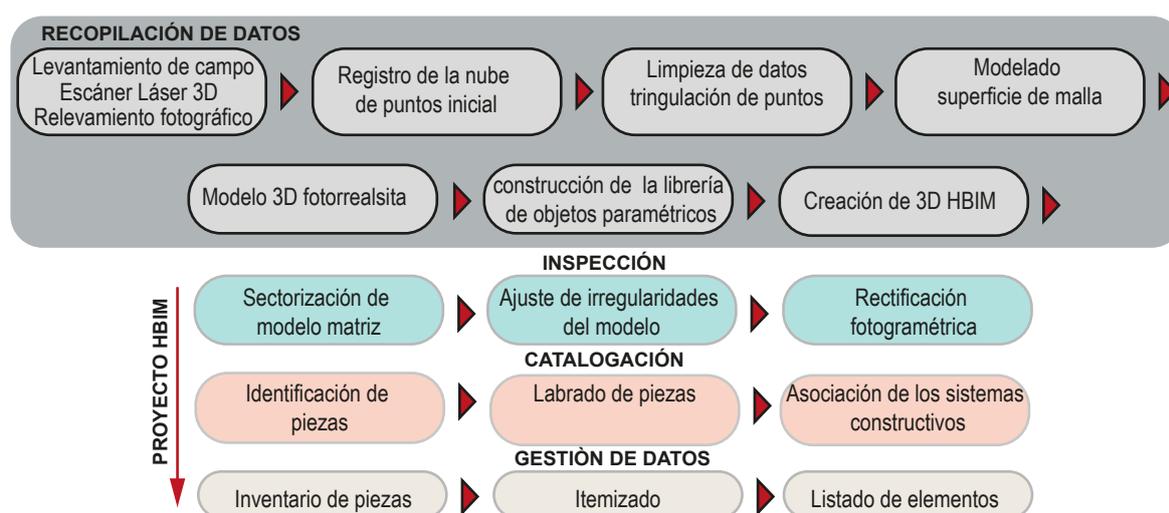


Figura 25. Elaboración propia basado en: Propuesta para un proyecto HBIM. (Nieto Julián et al., 2016)

En síntesis, estas experimentaciones dieron algunos avances en la metodología de aplicación de HBIM. La detección de problemas a partir de la experimentación de los procesos es fundamental para la eficiencia en los futuros modelos, teniendo en cuenta que se trata de una tarea laboriosa y que demanda bastante tiempo.

### 2.6.6.3. La comprensión de la evolución histórica de los edificios a través del análisis estratigráfico en HBIM

Por lo general, las edificaciones no son resultado de una única fase constructiva en términos cronológicos y de estratificación arquitectónica, sino todo lo contrario: obras de ampliación o demolición, reconstrucciones y también el cambio del uso original del edificio. En este punto de vista, el análisis estratigráfico, originalmente utilizado e implementado en el campo arqueológico, es una herramienta fundamental que permite no solo crear un mapa de superficie para la identificación de las diferentes secuencias cronológicas de construcción, sino también identificar los procesos progresivos de transformación y degradación de materiales debido a acciones naturales y / o antropológicas, así como a acciones voluntarias y / o involuntarias (Boato, 2008). A través de la detección de los componentes arquitectónicos pueden ser analizados los elementos y determinadas las unidades estratigráficas en las edificaciones históricas, generando así un mapa de lectura para la identificación de fases y establecimiento de hipótesis cronológica. (Beltramo, Diara y Rinaudo, 2019).

Documentar la estratigrafía significa recopilar los datos alfanuméricos y gráficos con el fin de generar las unidades estratigráficas. Para ello, es necesaria la relación de los datos fotográficos y gráficos (dibujos), y la descripción de cada unidad estratigráfica. Sin embargo, la fase de documentación principal se ejecuta mediante el uso de software CAD para delimitación de unidades sobre ortofotos (Diara y Rinaudo, 2020). En este proceso, la interpretación cronológica de la estratigrafía se basa en la matriz de Harris (Harris E.C., 2002), se representa gráficamente a través de un diagrama de relaciones. A través de este método se puede identificar la cronología relativa de las unidades (interpretación temprana basada simplemente en relaciones físicas) y la cronología absoluta (cronología inicial cruzada verificada con otros recursos externos) (Parenti R., 2000; Brogiolo et al., 2012).

Los autores S. Beltramo, F. Diara y F. Rinaudo (2019) vienen desarrollando en los últimos años una serie de investigaciones sobre la aplicación de la metodología HBIM en la realización de estratigrafías de edificios históricos. Generan un flujo de trabajo operativo para la integración del análisis estratigráfico en la plataforma HBIM y la idea consiste en identificar las unidades estratigráficas dentro de la plataforma BIM, las cuales vincularían digitalmente a sus fases históricas como también con información técnica. Para ello, relacionan una superficie formada por segmentos cerrados con datos compatibles IFC, para entonces, de esta forma, gestionar y realizar una clasificación arquitectónica. (Fig 27)

En su artículo “Evaluation of an integrative approach between HBIM and architecture history” (2019), los mismos autores experimentaron esta metodología con el Software BIM de código abierto FreeCAD, el cual permite la vinculación de una base de datos a partir de modelos IFC (entidades, elementos, geometría, materiales, etc.) con objetos paramétricos. Este concepto se utiliza para vincular las unidades estratigráficas con los datos. Una vez realizada la nube de puntos, se crearon diferentes ortofotos para cada paramento de estudio, y esas imágenes rasterizadas fueron utilizadas para leer, dibujar y numerar estratigrafía en software CAD. Los elementos arquitectónicos son modelados manualmente a partir de la nube, extrayendo geometrías y volúmenes uno por uno.

Dentro de FreeCAD se amplía y personaliza la base de datos de materiales adaptándola a cada una de las unidades estratigráficas y cada objeto paramétrico se convierte en un modelo semántico HBIM al proporcionar información y parámetros en formato de archivo IFC. Entonces, existe un paramento único homogéneo vinculado a diversas extrusiones superpuestas en los distintos planos, generándose diversas capas de muro. Los datos resultantes son visualizados en MySQL DBMS, lo que permite crear y administrar la base de datos basada esencialmente en tablas de fácil consulta. (Fig. 26)

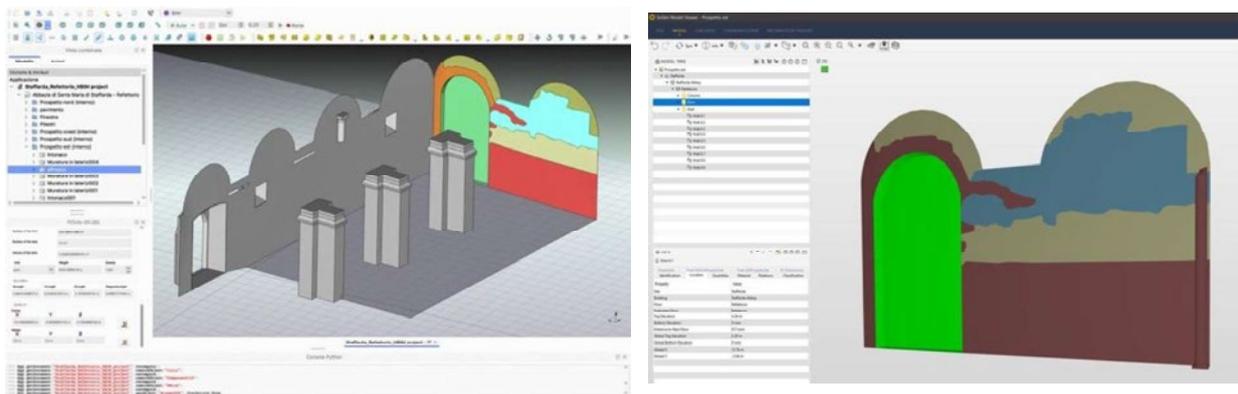


Figure 26. Creación del modelo IFC dentro de FreeCAD y consulta de los objetos con las estratigrafías en IFC en DBMS. (Beltramo, Diara y Rinaudo, 2019)

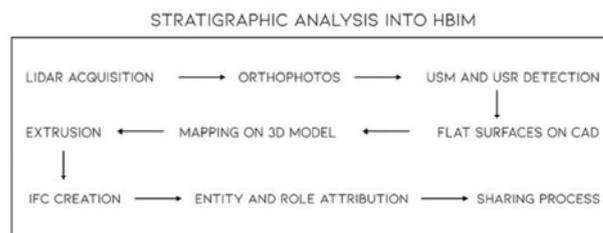


Figure 27. Conversion de analisis estratigrafico a modelo IFC (Beltramo, Diara y Rinaudo, 2019)

Investigaciones posteriores de F. Diara y F. Rinaudo (2020) profundizan sobre esta metodología incorporando el concepto de formas libres basadas en el algoritmo NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) y desarrollando un flujo de trabajo experimental aplicado al estudio histórico y estratigráfico.

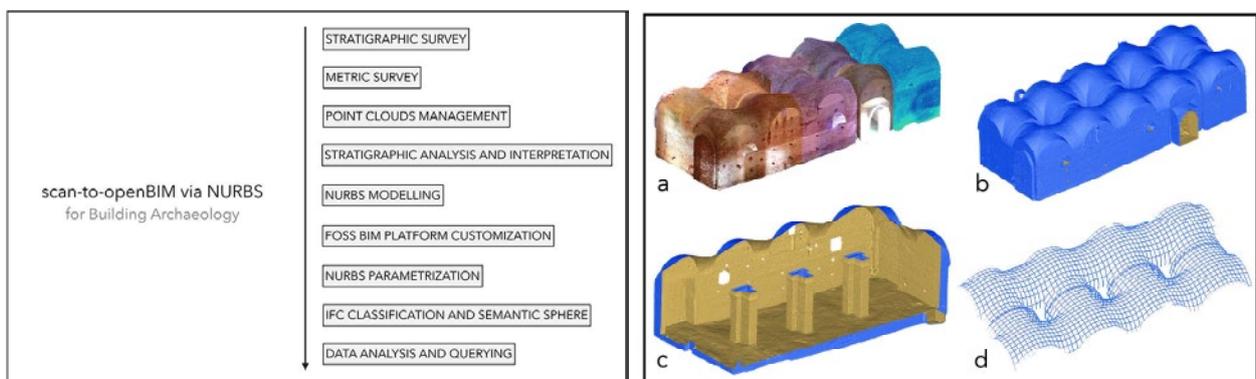


Figure 28. Scan-to-openBIM a través de un flujo de trabajo NURBS y gestión de datos métricos: a) nube de puntos b) malla poligonal c) detalle interno d) secciones planas del sistema abovedado (Diara y Rinaudo, 2020)

A diferencia del caso anterior, una vez obtenida la nube de puntos, ya habiéndose seccionado en planos los paramentos, se procede a realizar el modelado NURBS, que son perfiles generados a partir de los planos. Se trata de un proceso manual e interpretativo el cual requiere mucho tiempo. Una vez documentadas y registradas las unidades estratigráficas, basadas en las ortofotos, se realiza un análisis para determinar la relación entre las mismas y pasan a clasificarse y numerarse.

El modelado 3D de los NURBS es realizado utilizando el software Rhinoceros, o sea, se trata de curvas y superficies con el fin de alcanzar un buen nivel de detalle de las geometrías complejas y características del edificio. En este caso resuelven utilizar esta metodología ya que las plataformas BIM actuales, incluidas las soluciones de código abierto como FreeCAD, se ven afectadas por limitaciones de modelado, basadas esencialmente en bibliotecas predefinidas de elementos arquitectónicos teóricos, así como el modelado paramétrico simplificado a partir de primitivas geométricas que componen volúmenes principales de elementos arquitectónicos.

Sin embargo, las superficies y objetos NURBS no son modelos paramétricos y por esta razón no pueden implementarse directamente dentro de un Plataforma BIM, pero, existen diferentes soluciones con el fin de parametrizar modelos NURBS (Oreni et al., 2014; Diara et al., 2019), permitiendo modificar parámetros de construcción de objetos 3D de acuerdo con propósitos de modelado BIM.

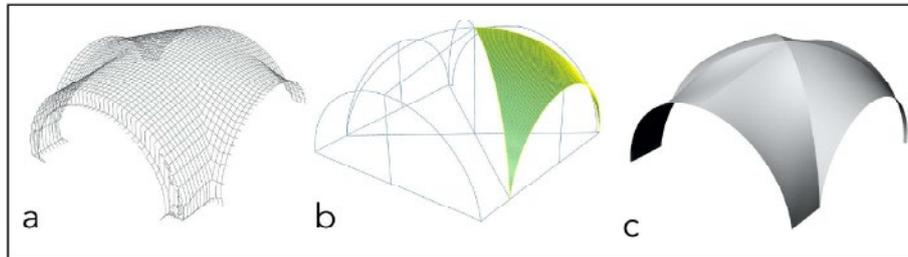


Figure 29. Estrategia de modelado NURBS: de sección planar (a) para a un perfil cableado simplificado sobre el que se han modelado las superficies (b) al modelo final (c). (Diara y Rinaudo, 2020)

Una vez realizado el modelado de los NURBS, las formas son enviadas a FreeCAD donde son parametrizadas y relacionadas con las informaciones referentes a las unidades estratigráficas compatibles con formatos IFC.

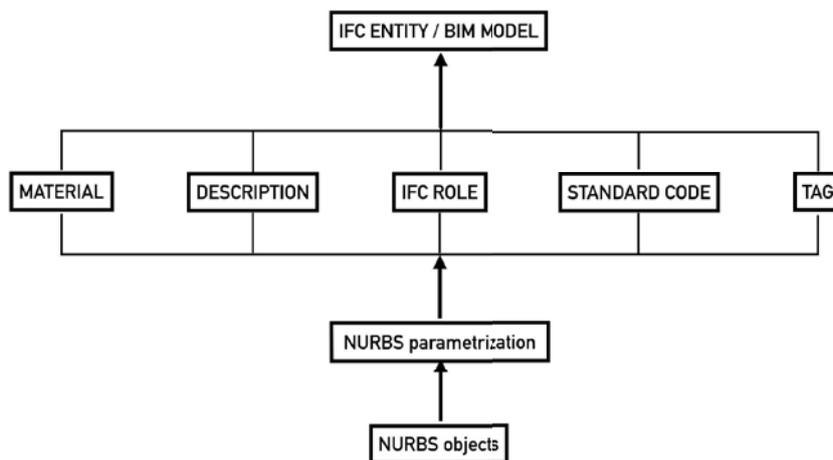


Figure 30. Desde los objetos NURBS hasta los datos informativos pasando por propiedades y atributos específicos dentro de FreeCAD (Diara y Rinaudo, 2020)

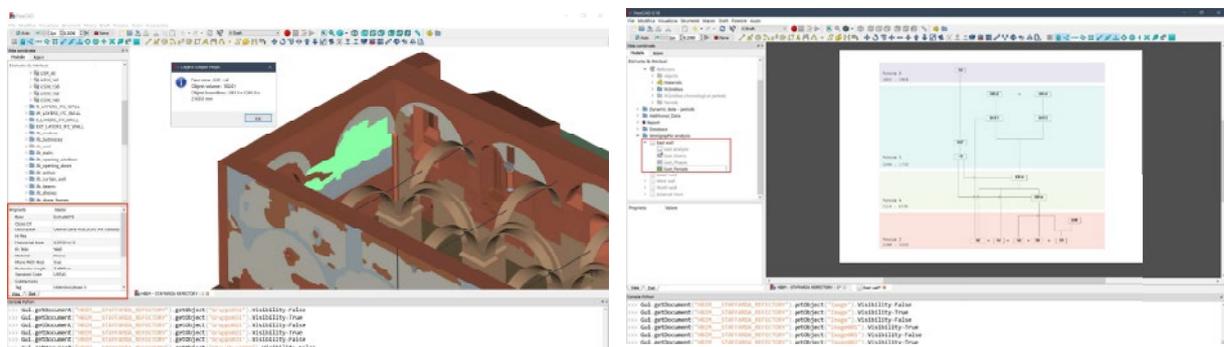


Figura 31. Modelado de estratigrafías y matriz de Harris en FreeCAD (Diara y Rinaudo, 2020)

#### 2.6.6.4. Determinación de hipótesis de fases históricas

En el año 2013, en el Digital Heritage International Congress, se presentó el caso de la Iglesia de Santa María en Scaria d'Intelvi, una pequeña localidad de Italia. Con el objetivo de reconstruir y estudiar las principales transformaciones y fases cronológicas, se llevó a cabo el proceso a partir del escaneo láser del edificio en conjunto con levantamientos fotogramétricos para la realización de un análisis estratigráfico respaldado por la documentación histórica.

A partir de la información recolectada elaboran un modelo 3D y su biblioteca de objetos pertenecientes al edificio. Los autores utilizan la metodología HBIM para representarlo, generar los objetos en 3D y administrar los datos relacionados sobre los elementos arquitectónicos a través de formatos comunes (IFC y gbXML) con el fin de asegurar la interoperabilidad entre los diferentes softwares. Combinan la información del edificio como los materiales, patologías y unidades estratigráficas con datos derivados de las tecnologías aplicadas al levantamiento - como las nubes de punto productos del escáner láser y las ortofotos digitales -, obteniendo así una representación georreferenciada con la cual se genera la biblioteca de familias: elementos estructurales, muros, bóvedas, cubiertas y elementos decorativos.

Surge una discusión a cerca de la biblioteca geométrica de elementos históricos, ya que no resulta ser del todo paramétrica, por tratarse compuesta en su mayoría de elementos singulares, esto llevó a tomar decisiones con respecto al nivel de detalle en el que se modelaban los elementos dentro del programa BIM, para evitar la complejidad o la simplificación excesiva de las formas.

En cuanto a los resultados obtenidos, ejemplos característicos muestran los apoyos verticales y las estructuras de empuje horizontales, las familias de muros irregulares, bóvedas y cerchas que se han generado dentro de BIM. La iglesia, como ocurre con la mayoría de los edificios históricos, está compuesta por mampostería irregular, rica en partes estratigráficas. Debido a que la biblioteca de Autodesk Revit® no incluye muros adecuados para las necesidades de esta iglesia, fue necesario combinar el muro regular de las familias de proyectos con una capa irregular. Cada elemento estratigráfico ha sido modelado por separado, para diferenciarlo a que fase pertenece, que se puede visualizar en la pestaña de propiedades a medida que se selecciona. Se ha podido cambiar automáticamente el color de los elementos mediante la aplicación de filtros gráficos creados ad hoc. (Brumana et al., 2013)

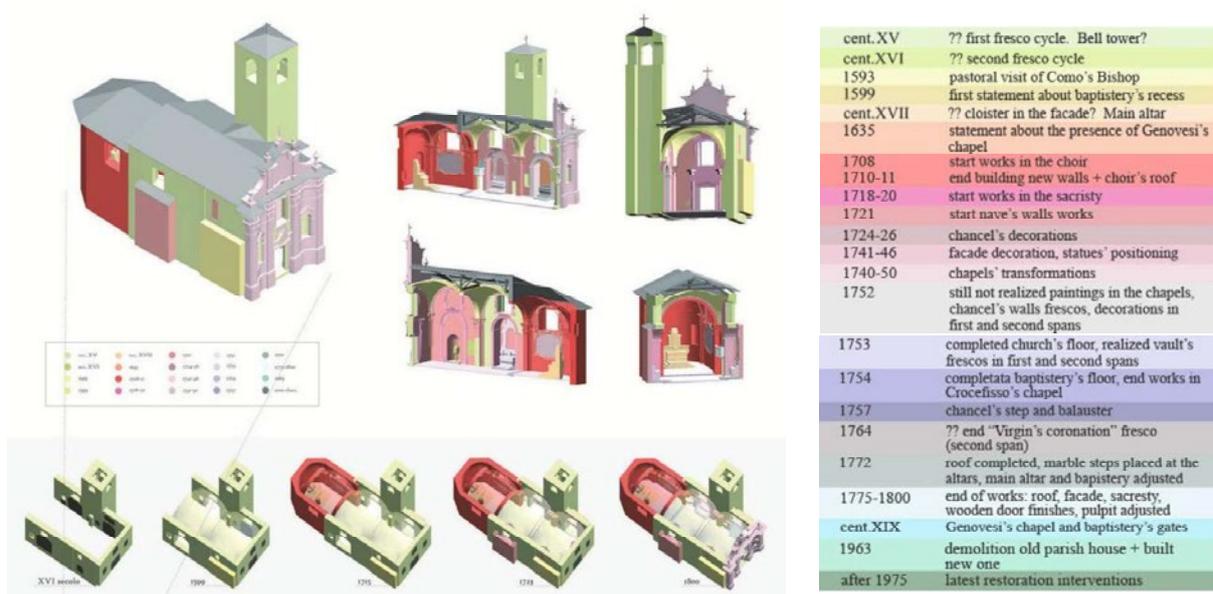


Figura 32. Las diferentes fases constructivas del edificio y sus transformaciones históricas en HBIM (Brumana, et al., 2013)

### 2.6.6.5. Aplicación de HBIM como herramienta de gestión del uso público

Como antes hemos mencionado, una de las utilidades de la metodología HBIM está en los beneficios que proporciona para la gestión de las edificaciones históricas. Así, citamos la tesis doctoral de E. Salvador García “Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico” (2020), que estudia las aportaciones metodológicas en la planificación y gestión del uso público del patrimonio. Realiza, a su vez, aportaciones sobre las dimensiones de HBIM en la conservación del patrimonio, tomándolo como un proceso secuencial que incluye dimensiones técnicas, legales y sociales.

E. Salvador García (2020) profundiza en la dimensión social, particularmente en la apropiación del patrimonio y su uso social, desarrollando los tipos de visitas a las cuales considera como visita pública sin interpretar y con interpretación. (Fig 33-34)

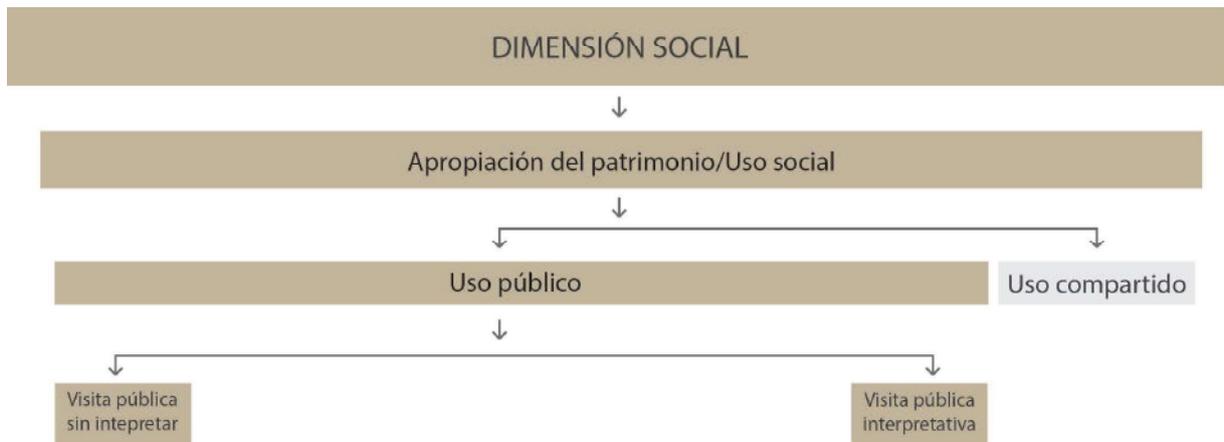


Figura 33. Distintas maneras de abordar el uso público del patrimonio. (Salvador García, 2020)

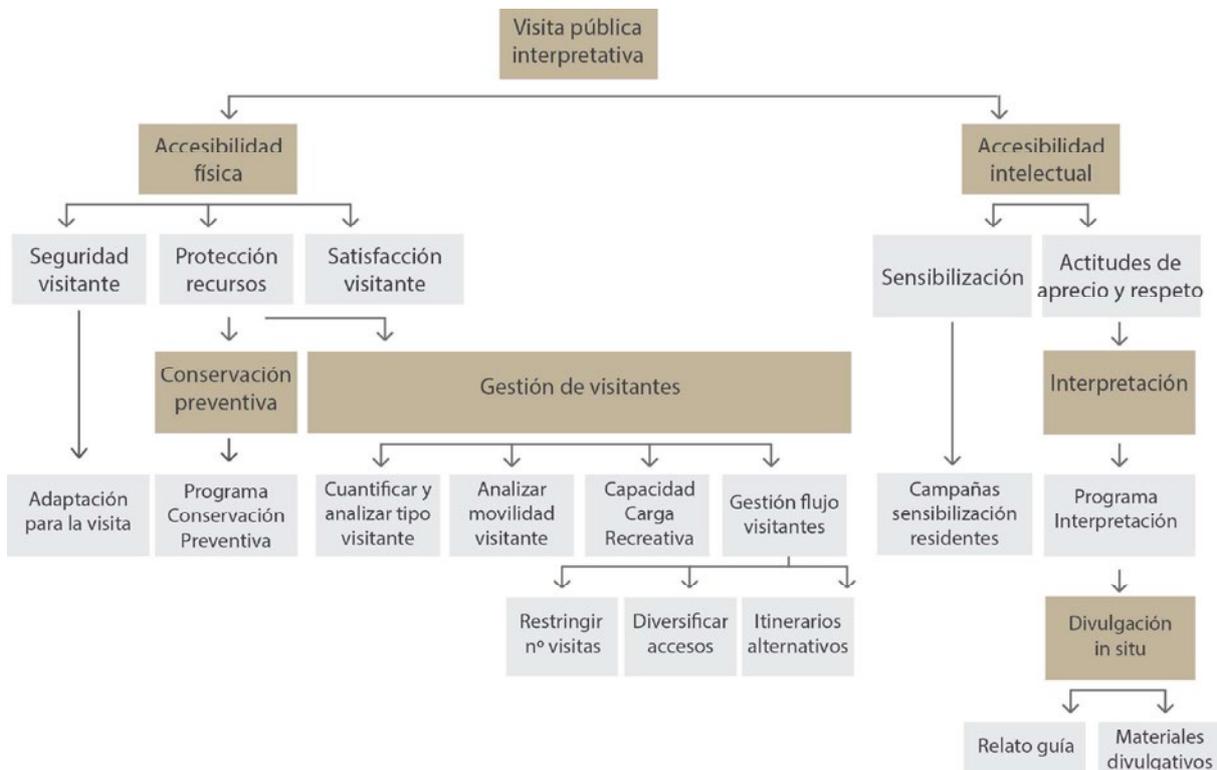


Figura 34: Ámbitos y herramientas para la planificación y gestión de la visita pública interpretativa. (Salvador García, 2020)

Para desarrollar este protocolo, el autor plantea cinco fases del diseño, siendo las primeras dos para identificar el potencial uso de HBIM para planificar y gestionar el uso público del patrimonio en términos de conservación preventiva, gestión de visitantes, interpretación del patrimonio y divulgación; identificando los usos, actores y procesos involucrados. (Fig 35-36)

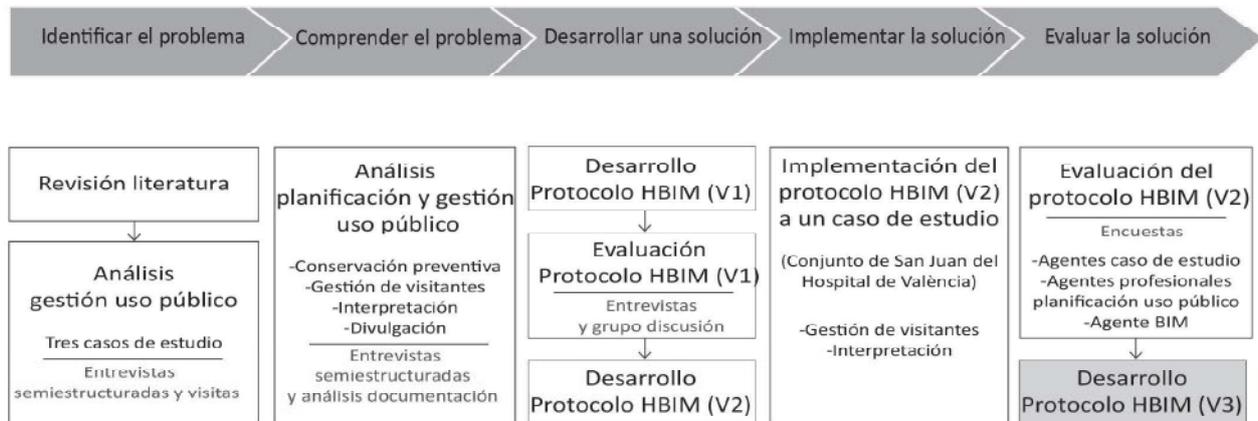


Figura 35. Diseño de la investigación. (Salvador García, 2020)

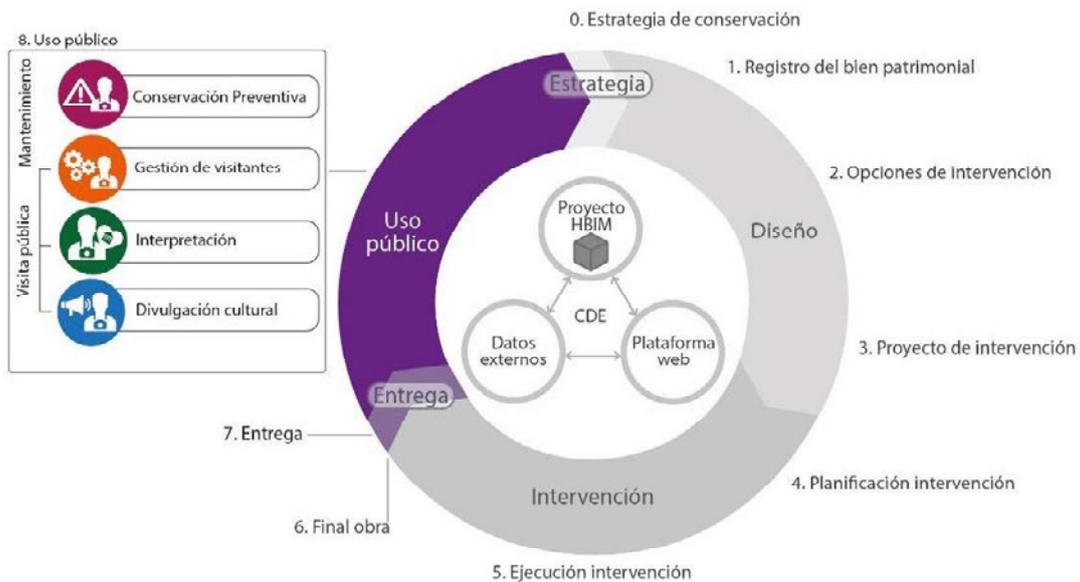


Figura 36. Diagrama cíclico de un proyecto HBIM (Salvador García, 2020)



Figura 37. Usos HBIM para el uso público del patrimonio. (Salvador García, 2020)

### 2.6.6.6 HBIM como instrumento para el desarrollo de planes directores

Al comprender la metodología HBIM, notamos que sus procesos tienen ciertas similitudes con la figura de los planes directores. Castellano-Román (2015) exploró algunas de las posibles aplicaciones en este campo y fundamenta la metodología como una herramienta para la generación y organización de la documentación técnica necesaria para calificar un edificio como Bien de Interés Cultural (BIC).

Como referenciamos en el capítulo anterior, HBIM comprende las dimensiones políticas, sociales y legales, y esta relación queda en evidencia, por ejemplo, en la generación de la documentación legal de un BIC, la cual tiene una naturaleza fundamentalmente administrativa condicionada por las legislaciones patrimoniales vigentes. (Castellano Román, 2015)

En la práctica, la elaboración de estos productos conlleva un gran esfuerzo para sintetizar todas las informaciones del bien a proteger, las cuales, tienen como contenido: análisis históricos-artísticos, arquitectónico, su valoración patrimonial, procesos de intervención, estado de conservación, la relación con los bienes muebles que contiene, etc. (López, 2008, como se citó en Castellano Román, 2015)

En España todos los bienes patrimoniales sujetos a Planes Nacionales deben poseer un plan director realizado previamente a la fase de intervención. (Salvador García, 2020)

“Los planes nacionales de patrimonio cultural son instrumentos de gestión del patrimonio, compartidos por las diversas administraciones y con participación de otras entidades públicas o privadas. Su objetivo es el desarrollo de criterios y métodos compartidos y una programación coordinada de actividades en función de las necesidades del patrimonio, que incluye actuaciones de protección, conservación, restauración, investigación, documentación, formación y difusión. Los planes nacionales constituyen de esta forma, una base informativa para tomar decisiones, establecen una metodología compartida de actuación y fijan prioridades en función de las necesidades del patrimonio, con el objetivo último de proteger y conservar los bienes culturales.” (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España, 2021).

Un modelo HBIM puede adaptarse para generar los documentos jurídicos necesarios para la protección del patrimonio, y en este sentido, tanto HBIM como también un instrumento de protección patrimonial se alimentan del trabajo colaborativo e interdisciplinar necesarias, para el estudio de todas las dimensiones del monumento.

En respuesta a esto, Castellano Román (2015) desarrolló un sistema de información patrimonial sobre la base del procedimiento de inscripción de un BIC en la categoría monumento, el cual permite el estricto cumplimiento de los requerimientos legales, constituyéndose en una plataforma de conocimiento y gestión de la tutela del bien, con posibilidades de actualizarse regularmente y con facilidades de vincularse a los sistemas de información patrimonial de las administraciones públicas y organizaciones competentes en materia de patrimonio cultural.

El conocimiento de las diferentes contribuciones sobre la implementación de la metodología HBIM en las edificaciones históricas en las distintas fases de salvaguarda y gestión, contribuyen para la definición de una metodología que responda de forma eficiente a los inconvenientes actuales, la misma será tratada en el próximo capítulo.

## 3. Metodología

### 3.1. Modelo teórico de aplicación

Para definir una modelo de implementación de HBIM en las edificaciones históricas, en principio es fundamental comprender las metodologías BIM y HBIM, los procesos cíclicos que sufren las edificaciones, como también las utilidades en el campo del patrimonio y todas las fases y etapas por las que se debe transitar para realizar una correcta acción tutelar. En este sentido, basados en las diferentes experiencias acerca del ciclo de vida de los edificios y la aplicación metodológica de HBIM (Nieto Julián, Moyano Campos, Rico Delgado y Antón Garcia, 2016; Sofía Antonopoulou, 2017; buildingSMART Spanish Chapter, 2018; Jordan-Palomar, Tzortzopoulos, García-Valdecabres y Pellicer, 2018; Jordán Palomar, 2019; Salvador García, 2020), definimos y generamos un modelo de aplicación que contempla las fases y acciones tutelares para edificaciones históricas. Además, fue necesario también incorporar la figura del plan director como parte de los lineamientos maestros de la acción tutelar. En este sentido, la elección del caso de estudio de la iglesia de San Lorenzo posee un entidad similar a los edificios estudiados por los autores antes citados.

Para comprender los vínculos que existen entre los diferentes campos y sus relaciones que componen la conservación y gestión del patrimonio y la metodología HBIM, realizamos el siguiente gráfico de relaciones (Fig 38). Es necesario interpretar los fundamentos teóricos de la metodología BIM, las dimensiones que abarcan la conservación y gestión del patrimonio según el marco normativo de la UNESCO y, así, generamos un marco teórico de aplicación teniendo en cuenta las interrelaciones de los diferentes campos.

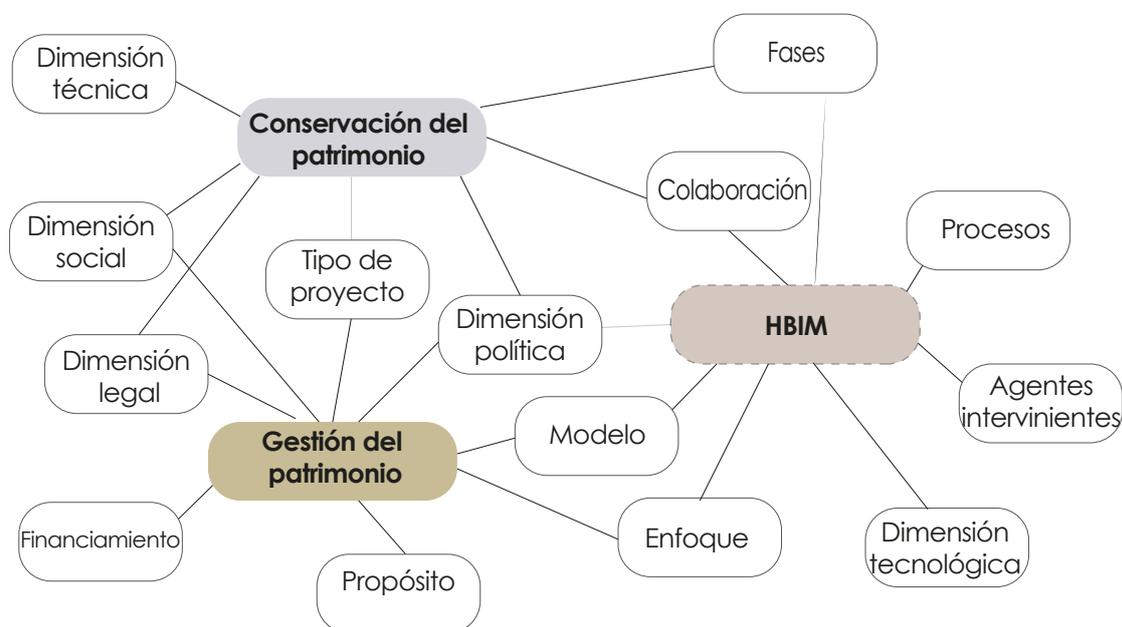


Figura 38. Diagrama de relaciones de los campos disciplinares, elaboración propia.

### 3.1.1. Construcción del modelo

Con el objetivo de generar una base de datos que permita incorporar las acciones que envuelven la tutela de las edificaciones históricas, fueron analizados diferentes documentos para fundamentar un modelo teórico que considere las fases y acciones mínimas necesarias. Para esto, además del análisis de la literatura relativa a HBIM, fue necesario analizar: el marco normativo de la UNESCO, las normativas de aplicación en el ámbito de la protección del patrimonio en España, la organización y contenido de los planes directores y los lineamientos desarrollados por la Guía BuildingSMART Spanish Chapter (figura 39). También, ha sido definida una serie de pasos a partir de la comprensión del ciclo de vida de las edificaciones históricas (figura 40), relacionados con los instrumentos de protección y las posibles intervenciones que pueden realizarse en las mismas.

Acciones de tutela: protección y salvaguarda del patrimonio	Intervenciones permitidas (PEP Ciutat Vella)	Organización y contenido de planes directores para el patrimonio español	Proyecto H-BIM Guía BuildingSMART Spanish Chapter (HBIM)
identificación documentación investigación preservación protección promoción valorización transmisión revitalización	valoraciones estudios previos mantenimiento prevención conservación reparación consolidación restauración reconstrucción rehabilitación reforma restructuración ampliación	1. antecedentes 2. estudio histórico 3. memoria descriptiva 4. plan de intervención 5. plan de gestión 6. plan de difusión 7. plan de conservación y mantenimiento	1. etapa de investigación y diagnóstico 2. etapa propuesta de intervención 3. etapa ejecución de obras de intervención 4. conservación preventiva 5. difusión cultural

Figura 39. Cuadro de las fases y acciones de los diferentes documentos del patrimonio, elaboración propia.

Como hemos hablado en los capítulos anteriores, la metodología BIM está fundamentada a través de la idea del ciclo de vida de las edificaciones y de la misma manera puede aplicarse este concepto a las edificaciones históricas. Para ello adaptamos el término como “ciclo tutelar” con la finalidad de ser aplicado al patrimonio. Proponemos definir el inicio del ciclo tutelar a partir de la detección del problema, por la cual se demanda una actuación y un tipo de intervención determinada. Entonces, dentro del proceso de tutela distinguimos de forma general 6 etapas:

**1. Identificación del problema:** la fase inicial en la cual se determinan los problemas y objetivos generales del plan de actuación.

**2. Identificación del bien patrimonial:** esta etapa concentra una serie de acciones relacionadas en primer lugar a la recolección y análisis de la información del bien. Se procede con el levantamiento arqueológico y arquitectónico, en el cual se reconocen todos los aspectos del edificio en términos de valor y estado, y también de ser necesario, evaluaciones de seguridad y la detección de inminentes peligros, pudiéndose considerar la realización de consolidaciones previas.

**3. Diagnósticos del bien patrimonial:** envuelve el desarrollo del informe de diagnóstico junto con la determinación de sus objetivos y viabilidad. Reflejan los inconvenientes encontrados en el bien, las posibles soluciones y recomendaciones, además de delinear los primeros acercamientos para definir los tipos de intervenciones a realizar.

**4. Proyecto de intervención:** en él se definen los criterios y estrategias de intervención, el tipo de intervención, el plan de trabajo de las intervenciones, el desarrollo de toda la documentación técnica para ser materializada, además de costes y tiempos.

**5. Intervenciones:** engloba toda la documentación y los procesos necesarios para la materialización de la intervención como también la realización de ensayos y pruebas que se demanden. Y la registración de todos los procesos ejecutados.

**6. Gestión del bien patrimonial:** conformada por una amplia y abierta cantidad de acciones, pero principalmente a las gestiones necesarias para garantizar el uso, operabilidad, mantenimiento, conservación y difusión del bien patrimonial.



Figura 40. Ciclo tutelar del patrimonio cultural, elaboración propia.

Como resultado de la relación e incorporación de los documentos antes mencionados se genera un flujo de trabajo eficiente, que reúne y organiza los procesos. De esta forma, se presentan las diferentes fases y acciones que se necesitan tener en conocimiento para generar una base de datos completa y eficaz para la realización de las acciones tutelares.

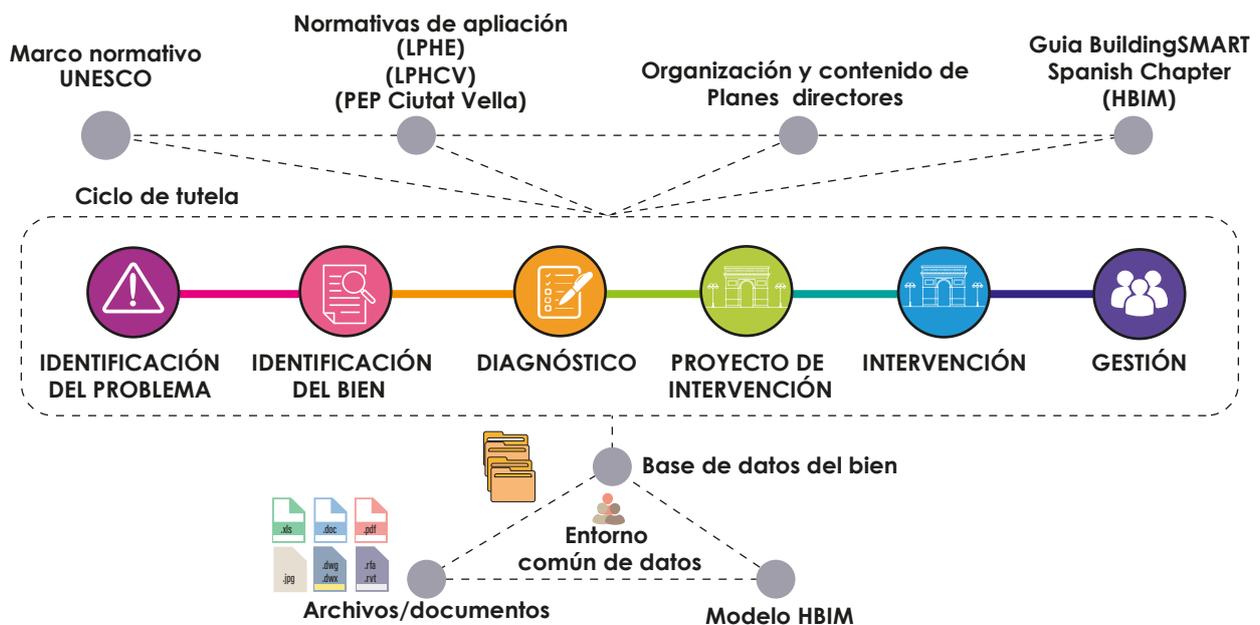


Figura 41. Bases teóricas para la elaboración del ciclo tutelar del patrimonio cultural, elaboración propia.

Con la definición de un ciclo de tutela para el patrimonio edificado, de forma detallada generamos una matriz de procesos que corresponden a la asociación de fases, acciones, productos y agentes intervinientes, buscando así una organización eficiente. Para ello, fue necesario incorporar el conocimiento de diversas investigaciones (Maxwell, 2014; BuildingSMART Spanish Chapter, 2018; Salvador García, 2018; Jordán Palomar, 2019). Esta matriz es genérica, por lo tanto debe ser adaptada según los problemas y objetivos de cada proyecto, ya que, no todos los bienes tienen la misma complejidad.

### **Fases y acciones**

Las fases son el agrupamiento de las distintas acciones tutelares, siendo tanto las primeras como estas últimas identificadas a través del estudio de documentos relacionados con la conservación, restauración y gestión del patrimonio. Las acciones, específicamente, corresponden a la división de tareas de forma organizada y cronológica, las cuales se realizan en el ámbito del patrimonio y fueron listadas conforme el estudio de diferentes documentos relacionados con este ámbito.

### **Agentes intervinientes**

Representan todos los actores necesarios de las diferentes disciplinas para llevar a cabo las tareas de confección, realización del proyecto, ejecución y gestión. Este modelo tiene en cuenta los distintos agentes intervinientes en la gestión de la información de un bien patrimonial, como también en las tareas y productos entregables referentes a cada uno.

### **Base de datos del bien**

Es el corazón del modelo, está conformado por la información producida en todo el proceso. Para lograr una base de datos coherentes es necesario organizar las informaciones relacionadas con el bien con el fin de obtener una correcta gestión de las mismas. En este caso, incorporamos la aplicación de la metodología HBIM para concentrar la información en un modelo gráfico centralizado.

### **Matriz de procesos**

La propuesta de este modelo busca una mirada amplia y multidisciplinar, y su aplicación parcial o total depende de los objetivos de partida. La estructura está enfocada en orientar el orden de los procesos, siendo pensada para la implementación en los sistemas digitales. Además, se definen todas las acciones correspondientes a cada una de las fases, estas son asociadas a los actores que intervienen en el proceso, acción fundamental para determinar su rol en el sistema.

### **Agentes que intervienen en el proceso tutelar de las edificaciones históricas**

**Equipo multidisciplinar:** está conformado por los coordinadores del proyecto y los técnicos especialistas que tengan incumbencias en cada uno de los procesos. Estos abarcan a todas las figuras que sean necesarias para la realización del ciclo tutelar, como arquitectos, ingenieros, restauradores, arqueólogos, antropólogos, geólogos, etc.

**Arquitecto e ingeniero:** según la Ley de contratos de Sector Público (LCSP), la figura redactora, tutora y encargada del seguimiento de los proyectos debe ser siempre un arquitecto o ingeniero para los contratos del orden público. Además de realizar sus propias incumbencias profesionales.

**Arquitecto técnico o aparejador:** corresponde a estos la dirección de la ejecución de las obras, y formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de las obras y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado. (Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación)

## Equipo de técnicos especialistas

**Arquitecto-restaurador:** su ámbito de actuación está referido a la preservación del patrimonio arquitectónico y urbanístico, desempeña el análisis científico de los edificios, de sus materiales constructivos y de su estado de conservación. Además de la investigación de los registros documentales del bien cultural, intervención o proyecto de restauración. Se encargan de delinear las acciones de conservación preventiva del edificio, con la que se buscará obtener la preservación de su estado original, una correcta gestión y un adecuado control de su estado de conservación. (Molina-Liñán, Flores Ortiz, 2018)

**Ingeniero-restaurador:** entre sus funciones tiene la de conocer y analizar los sistemas estructurales tradicionales y su comportamiento, lo cual es fundamental para evaluar cualquier sintomatología (muros de tapial, fábricas de ladrillo, de mampostería, de sillería, estructuras de madera, armaduras de cubierta, arcos, bóvedas, cúpulas, etc.). (Vega Ballesteros, da Casa Martín, 2018)

**Conservador-restaurador:** es el profesional capaz de realizar un análisis de vulnerabilidad, diagnóstico, una evaluación de riesgos, y encargado de plantear y definir las propuestas de actuación prioritarias.

**Arqueólogo:** realiza informes de diagnóstico en los proyectos de restauración y rehabilitación. Actúa en la difusión cultural, proyectos de puesta en valor, comunicación, interpretación de sitios arqueológicos, etc. Ejecuta actividades de protección preventiva (excavaciones, seguimientos, estudios paraméntales, informes de evaluación, etc. (Reimóndez Becerra, 2018)

**Historiadores del arte:** aportan una visión global de la evolución de los elementos artísticos y de sus relaciones con otros monumentos. Pueden desempeñar roles ligados a la protección y gestión del patrimonio histórico-artístico, aplicados en la catalogación de conjuntos monumentales, asesoría técnica y gestión de programas de actuación. En el campo de la difusión del patrimonio pueden desempeñar tareas de interpretación, turismo y programas didácticos. (Gómez Jiménez, 2018)

**Antropólogos:** profesional que estudia las culturas humanas, sus características y las alteraciones sufridas por la sociedad a lo largo del tiempo. En el patrimonio aporta información útil para comprender el bien y sus diferentes significados y valores.

**Topógrafos:** son los encargados de realizar los estudios y análisis del terreno, efectúan los levantamientos topográficos y a través de diversos ensayos posibilitan caracterizar los suelos. También, desarrollan los trabajos de escaneo láser de los edificios.

**Geólogos:** se encargan de estudiar la estructura, origen y evolución de la Tierra y sus recursos naturales. En el ámbito patrimonial se encargan principalmente de establecer la edad de las rocas y su evolución en el tiempo, esto es fundamental para establecer en algunos casos la procedencia, caracterización, procesos de deterioro y edad del mineral.

**Petrólogos:** actúan en la rama de la geología que reconoce los aspectos físicos, químicos y mineralógicos de los materiales pétreos, realizan los ensayos, valoran el estado de conservación.

**Químicos:** reconocen la composición química de los materiales que forman parte de las edificaciones, para el diagnóstico y la intervención.

**Paisajistas:** estudia la evolución histórica del paisaje y de las zonas urbanas, y a las técnicas de restauración y rehabilitación de jardines históricos.

**Ingenieros informáticos y programadores:** generadores de aplicaciones y sistemas para la gestión y la monitorización del patrimonio histórico. Encargados de gestionar la información y aplicación de las herramientas de comunicación a través de internet y las redes sociales.

**Piloto de drones:** son los encargados de realizar videos y fotografías aéreas sobre los bienes patrimoniales, con fines de estudio, reconocimiento, análisis y difusión. Los productos más comunes son: ortofotos de alta resolución, modelo digital de elevaciones, modelos tridimensionales exportables y visores 3D.

**Museólogos:** se encargan de la divulgación de las tareas de renovación y rehabilitación del patrimonio cultural. Entre sus tareas están las de investigar, documentar, conservar y restaurar, comunicación y educación.

**Gestor cultural:** especializados en arte, historia, cultura e idiomas, que se dedican a promover, incentivar, diseñar y realizar proyectos culturales y artísticos.

**Social media:** responsable de autorizar, monitorizar y generar contenido para las páginas oficiales del bien patrimonial en las redes sociales.

**Entidades y laboratorios de control de calidad de la edificación:** prestan asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.

### **Figuras propias del desarrollo de proyectos y obras de intervención**

**Empresa contratista:** responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el proyecto, junto con las empresas subcontratistas realizan las obras o servicios necesarios propuestos en la intervención.

**Constructor:** es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato. (Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación)

**Coordinador de Seguridad y Salud:** coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de las obras.

**Promotor:** será cualquier persona, física o jurídica, pública o privada que, individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título. (Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación)

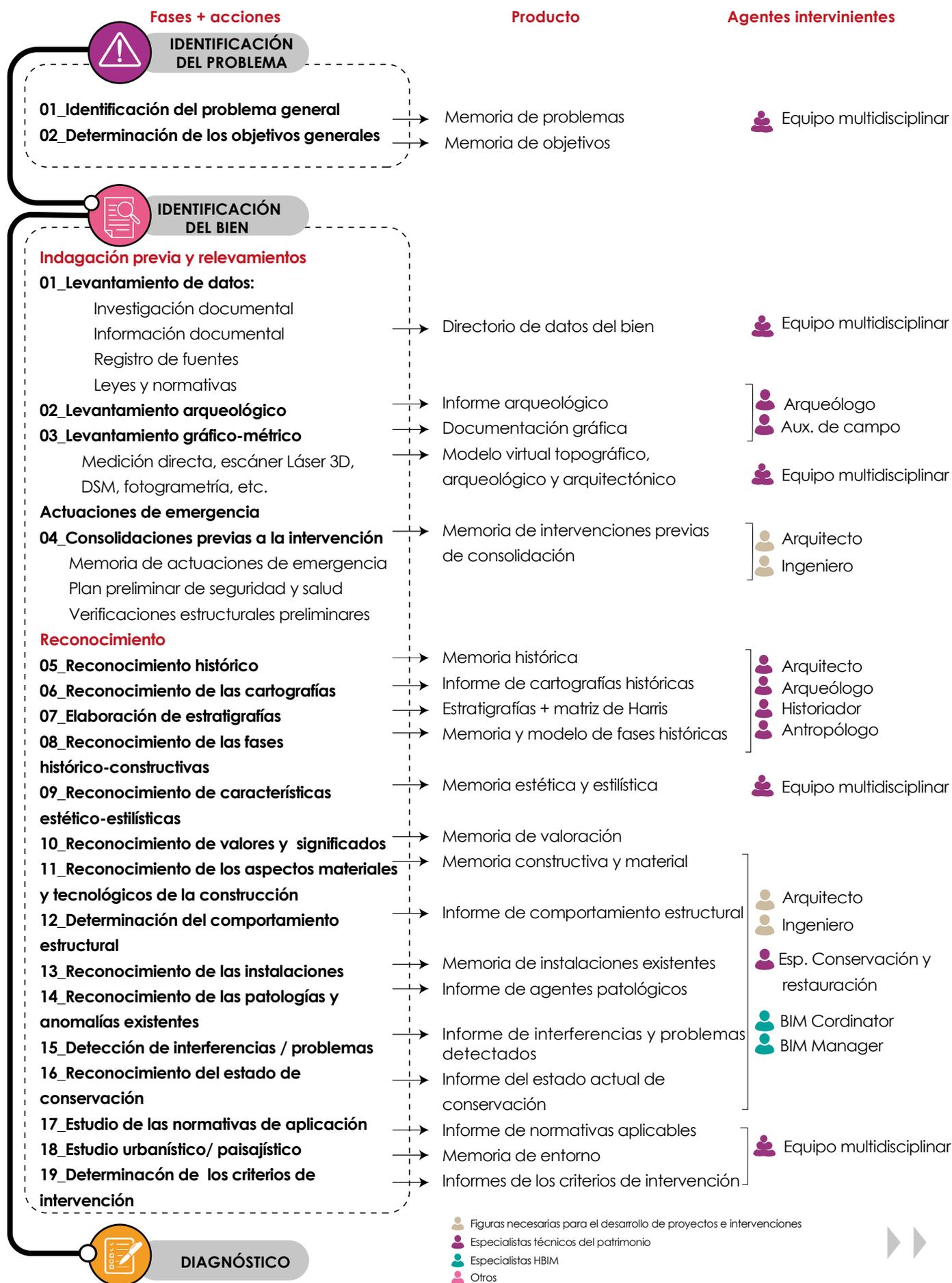
### **Especialistas HBIM**

**BIM Manager:** creador del BIM execution plan (BEP), se encarga de coordinar la colaboración de la información.

**Coordinador BIM:** coordina todas las tareas realizadas por los diferentes especialistas, control de calidad y revisiones. Preparación de los archivos template.

**Especialistas BIM:** son los encargados de modelar y coordinar cada una de las disciplinas: MEP, arquitectura, estructura, restauración, etc.

### 3.1.2. Matriz de procesos



-  Figuras necesarias para el desarrollo de proyectos e intervenciones
-  Especialistas técnicos del patrimonio
-  Especialistas HBIM
-  Otros



Fases + acciones

Producto

Agentes intervinientes



DIAGNÓSTICO

- 01\_ Informe diagnóstico → Informe diagnóstico
- 02\_ Objetivos particulares de la intervención → Objetivos de intervención
- 03\_ Estudio de viabilidad económica → Estudio de viabilidad económica

- Equipo multidisciplinar
- BIM Cordinator
- BIM Manager



PROYECTO DE INTERVENCIÓN

- 01\_ Definición de los criterios y estrategias de intervención → Criterios y estrategias de intervención
- 02\_ Plan de intervención → Plan de intervención
- 03\_ Diseño
  - Propuesta arqueológica → Proyecto arqueológica
  - Propuesta de consolidación → Proyecto de consolidación
  - Propuesta de restauración → Proyecto de restauración
  - Propuesta arquitectónica → Proyecto arquitectónico
  - Propuesta estructural → Proyecto estructural
  - Propuesta de instalaciones → Proyecto de infraestructuras
  - Propuesta museística → Proyecto museístico
  - Análisis de eficiencia energética
- 04\_ Documentación técnica → Documentación técnica
- 05\_ Estimación de fases y tiempos → Fases y tiempos
- 06\_ Estimación de costos → Estudio de costos

- Promotor
- Arquitecto
- Ingeniero
- Esp. Conservación y restauración
- Restaurador
- Gestor cultural
- Meseólogo
- BIM Cordinator
- BIM Manager



INTERVENCIÓN

- 01\_ Ejecución de las intervenciones
  - Desarrollo de la documentación → Documentación de obra
  - Seguridad y salud de la obra → Seguridad y salud de la obra
  - Seguimiento de obra → Registro de seguimiento de obra
- 02\_ Ensayos y pruebas complementares → Memoria de ensayos y pruebas
- 03\_ Supervisión → Informes de seguimiento
- 04\_ Registro documental de las intervenciones → Fichas diarias de las intervenciones

- Promotor
- Arquitecto / Ingeniero
- Aparejador
- Contratistas
- Constructor
- Esp. Conservación y restauración
- Restaurador
- Coordinador de Seg. y Salud
- BIM Cordinator
- BIM Manager



GESTIÓN

- 01\_ Uso
- 02\_ Mantenimiento/ conservación preventiva
  - Manual de conservación → Plan de conservación y mantenimiento programado
  - Mantenimiento programado
- 03\_ Gestión y operativa del bien
  - Costes operativos → Plan de gestión operativa
  - Gestión de visitantes
  - Gestión económica
  - Plan de vigilancia
  - Seguridad contra incendios
  - Plan de evacuación
  - Seguridad y salud de los visitantes
  - Plano de accesibilidad
  - Planes de contingencia
- 04\_ Difusión → Plan de difusión
  - Modelos VR y VA / Material audiovisual
  - APPs / Redes sociales / Web

- Arquitecto
- Ingeniero
- Esp. Conservación y restauración
- Equipo multidisciplinar
- Administrador
- BIM Cordinator
- BIM Manager

- Administrador
- Gestor cultural
- Social media
- Programador
- BIM Cordinator
- BIM Manager

## Aspectos metodológicos de la matriz de procesos en la fase de identificación del bien:

### Indagación previa y relevamientos

#### 01\_ Levantamiento de datos:

- Análisis y estudio de toda la información recabada relativa a documentos, registros, leyes, normativas, intervenciones, etc. relacionadas con el bien y su entorno.

#### 02\_ Levantamiento arqueológico

- Análisis y estudio de toda la información recabada relativa a las intervenciones arqueológicas realizadas hasta el momento en el bien y su entorno.
- Realización de un mapa predictivo de posibles riesgos arqueológicos dentro del entorno del bien.
- Caracterización exhaustiva del registro arqueológico de cada área.
- Análisis estratigráfico completo de los paramentos del bien.

#### 03\_ Levantamiento gráfico-métrico

- Levantamiento planimétrico del bien suficientemente detallado que permita identificar todos los elementos del mismo, así como las construcciones que le rodean o estén lindantes en él. Pudiéndose emplear cualquier sistema de levantamiento de planos que acredite la suficiente precisión y permita reflejar en ellos el estado de conservación, la lectura de paramentos, sus patologías, etc.
- Realización de los alzados generales del edificio representados con sus correspondientes plantas, plantas seccionadas y secciones generales con suficientes detalles que definan con claridad la geometría y relaciones espaciales del conjunto.
- Levantamiento de planos, alzados y secciones por las caras externas e internas del edificio, incluyendo construcciones sobrepuestas o adosadas. (MECD, 2016)

### Actuaciones de emergencia

#### 04\_ Consolidaciones previas a la intervención

- Generación de la memoria de actuaciones de emergencia.
- Redacción del plan preliminar de seguridad y salud.
- Verificaciones estructurales preliminares.

### Reconocimiento

#### 05\_ Reconocimiento histórico: basado en la documentación existente, comprende:

- Análisis de la propia historia del edificio.
- Análisis de los valores simbólicos ligados a las costumbres y tradiciones de la memoria local, vinculados al bien.
- Identificación de las adaptaciones sufridas a lo largo de su historia (uso, función y registro de construcción) mediante identificación gráfica y documental.
- Estudio de las restauraciones recientes, información relativa a las intervenciones arquitectónicas, arqueológicas o de conservación e investigación que se hayan realizado hasta el momento en el bien y su entorno in-mediató. (MECD, 2016)

#### 06\_ Reconocimiento de las cartografías:

- Análisis de los documentos cartográficos relacionados al bien.

## **07\_Elaboración de estratigrafías:**

- Análisis estratigráfico completo de los paramentos del bien, que tienen como fin conocer e identificar de forma exhaustiva las diferentes fábricas y así, poder obtener la secuencia estratigráfica de su construcción histórica que permite establecer su cronología relativa y las fases constructivas.

## **08\_Reconocimiento de las fases histórico-constructivas**

- Estudio histórico y morfológico del edificio con representaciones planimétricas y gráficas de las fases.

## **09\_Reconocimiento de características arquitectónicas y artísticas:**

- Estudio analítico-descriptivo detallado del conjunto arquitectónico.
- Estudio de los elementos de carácter artístico que contiene el edificio, que lo caracteriza en sus detalles y lo ubican cronológicamente dentro de la historia de la arquitectura de las diversas épocas de construcción del mismo.
- Comprende una catalogación de elementos arquitectónicos y artísticos mediante la elaboración de fichas individuales de cada elemento en las cuales quede documentada la información referente al elemento.
- Memoria de los elementos arquitectónicos y artísticos con el establecimiento de paralelos, eventual genealogía y comparaciones con otros similares. (MECD, 2016)

## **10\_Reconocimiento de valores y significados**

- Identificación y documentación de aspectos de configuración tipológica (factores culturales locales, políticos, económicos, paisajísticos y poliorcética).
- Identificación y estudio de aquellos elementos singulares significativos del bien.

## **11\_Reconocimiento de los aspectos materiales y tecnológicos de la construcción**

- Recopilación de posibles estudios de caracterización de los diferentes tipos de materiales o morteros.
- Estudio de caracterización de los diferentes tipos de materiales, mortero, humedades y de las diversas técnicas o sistemas constructivos empleados en la construcción del edificio y sus fases posteriores.
- Análisis de laboratorio de aquellos componentes que se consideren necesarios para mejorar la comprensión del comportamiento de los materiales en la actualidad, con el objetivo de plantear soluciones constructivas desde el conocimiento de los mismos sin provocar incompatibilidades o daños irreversibles en futuras intervenciones.

## **12\_Determinación del comportamiento estructural**

- Identificación de las características del sistema estructural y constructivo de la arquitectura del bien, distinguiendo las soluciones estructurales originales o la que la propia historia del edificio haya hecho suyas, teniendo como objeto la adecuada elección de las soluciones de conservación. (MECD, 2016)

## **13\_Reconocimiento de las instalaciones**

- Identificación de las instalaciones existentes del bien, distinguiendo las soluciones originales o las incorporadas a lo largo de la historia del edificio.

#### **14\_Reconocimiento de las patologías y anomalías existentes**

Como base para poder abordar la elección de la propuesta de restauración arquitectónica, es necesario realizar un completo análisis del estado actual del bien y del medio en que incide en su conservación, dictaminando sobre cimentación, estructura, y lesiones de todo tipo en general. Esto puede comprender:

- Análisis de patologías y diagnosis del estado actual de bien.
- Elaboración de una colección de fichas que reflejen los datos en referencia al problema y al objeto o lugar, identificando las patologías, su localización de forma escrita y gráfica mediante planimetría y/o fotografía descriptiva, los análisis de posibles causas.
- Elaboración de un mapa de lesiones de las fábricas y demás elementos y construcciones, señalando localización de las patologías detectadas, diferenciando cada tipología.
- Elaboración de una memoria con la diagnosis de las lesiones patológicas, indicando las causas y efectos de las patologías y señalando propuestas de eliminación de las causas y atenuación de los efectos. (MECD, 2016)

#### **15\_Detección de interferencias / problemas**

- Análisis de las interferencias y problemas no contempladas en las patologías detectadas.

#### **16\_Reconocimiento del estado de conservación**

- Este apartado implica las directrices para la redacción de proyectos de restauración arquitectónica y su posterior ejecución. Es producto de los resultados de los estudios previos como de los análisis de patologías y diagnosis del estado actual, como de la evaluación de los aspectos geotécnicos, los sistemas de evacuación y ventilación perimetrales, la incidencia de la pavimentación moderna sobre las fábricas, las instalaciones existentes y el entorno del edificio.

#### **17\_Estudio de las normativas de aplicación**

- Análisis de las normas que afecten la protección del bien en materia de cultura, urbanismo, medioambiente, industria y turismo, tanto para la planificación de actuaciones e intervenciones directas, como para las tareas de mantenimiento y gestión.
- Análisis del régimen de propiedad y afectaciones legales, con especial referencia a las del Patrimonio Histórica y Urbanístico derivadas de la legislación vigente. (MECD, 2016)

#### **18\_Estudio urbanístico/ paisajístico**

- Estudio del entorno de protección del bien de acuerdo con la legislación de Patrimonio Histórico y puede contemplar también un estudio crítico de esta y las posibles sugerencias de modificaciones.
- Análisis de las normativas, reglamentos y figuras urbanísticas que afecten al edificio y su entorno.

## Implementación de la matriz en un entorno 3D-HBIM:

La confección de la matriz de procesos no es más que una organización de pasos para ser implementada en un entorno colaborativo 3D-HBIM, la misma es similar a la estructura de redacción de un Plan Director aplicado a los bienes patrimoniales.

La inclusión de la matriz a la un entrono 3D-HBIM se genera a partir de la aplicación de diferentes softwares y plataformas web específicas en gestión de la información. El uso de una plataforma de colaboración BIM ofrece un flujo de trabajo más eficiente y preciso, y de esta manera se logra un mayor control sobre los datos generados, mejorándose la interoperabilidad. La base de la metodología BIM es el trabajo colaborativo entre las diferentes disciplinas implicadas (arquitectura, ingeniería, arqueología, topografía, historia, etc.).

El trabajo colaborativo se define como la gestión de la información generada en el desarrollo de un proyecto a través de un entorno común, de manera que permita el intercambio de datos a través de un espacio digital único. Esto nos ofrece la posibilidad de que todos los agentes implicados en un proyecto puedan trabajar a la vez, independientemente de su ubicación. (BINnD, 2020)

Actualmente, existen numerosas herramientas para el trabajo colaborativo en BIM, siendo las más utilizadas:

- **BIMcollab:** es una plataforma abierta que ofrece un conjunto de software como son BIMcollab Cloud, BCF Managers o BIMcollab ZOOM. Esta herramienta facilita la comunicación y la colaboración BIM.
- **A360:** creada por Autodesk© permite consultar, compartir los datos y la realización de revisiones de un proyecto en tiempo real.
- **TEAM WORK:** esta plataforma propia de ArchiCAD© permite el trabajo colaborativo en los proyectos. Se basa en una tecnología cliente-servidor que garantiza la máxima velocidad y seguridad de los datos compartidos.
- **Trimble Conect:** esta herramienta de colaboración abierta permite a las personas implicadas en un proyecto conectarse y compartir los datos necesarios para el correcto desarrollo de un proyecto. (BINnD, 2020)

Otra alternativa a estas plataformas creadas para BIM, es adaptar una plataforma colaborativa como Microsoft Teams, que asegura a través de SharePoint y OneDrive la sincronización de la información en tiempo real. SharePoint es una herramienta de colaboración para organizaciones que necesitan varios individuos y equipos para trabajar en documentos y productos al mismo tiempo.

Con la aplicación de alguna de estas herramientas, el modelo 3D-HBIM puede ser visualizado, consultado, editado y revisado por los agentes a partir de la asignación de roles y permisos. Además, algunos agentes de proyecto tienen la posibilidad de acceder a un modelo propio (modelo 3D-HBIM local) el cual se encuentra gestionado por un BIM coordinator. La unión de los modelos locales conforma el modelo centralizado 3D-HBIM el cual se encuentra coordinado por un BIM manager.

A través de la gestión de permisos los agentes externos (promotores, contratistas, constructores, etc.) tienen la posibilidad de lectura, esto quiere decir que no todos los agentes disponen de toda la información. Los subproyectos generados por agentes no BIM son compartidos en la plataforma colaborativa y a través de plug-ins son enlazados al modelo 3D-HBIM.

### 3.1.3. Esquema de generación del modelo HBIM

A partir de lo analizado se propone un modelo de generación HBIM de aplicación en las construcciones históricas. Para ello, se ha tomado de referencia la comprensión de las necesidades basadas en el proceso de tutela de los bienes patrimoniales antes definidas, las cuales abarcan el desarrollo de las fases que se refieren a tal proceso.

El modelado tridimensional de un objeto puede verse como el proceso completo que comienza con la adquisición de datos y termina con un modelo virtual 3D visualmente interactivo. En el caso de HBIM, se incluyen las relaciones de la información, que resulta en una base de datos de donde es posible extraer diversos productos.

La generación del modelo comienza con la recopilación de datos documentales y geométricos del bien, siendo estos últimos de carácter topográfico, arqueológico y arquitectónico. La siguiente etapa involucra el diseño y construcción de una biblioteca paramétrica de objetos, que se basa en los elementos históricos. La metodología para construir una biblioteca de objetos paramétricos interactivos está basada en datos arquitectónicos históricos, y la misma se realiza modelando lo existente, complementado con el análisis de los datos histórico-arquitectónicos.

En otro paso se determina la estructura de los atributos basados en los objetivos del proyecto, de forma tal de generar el sistema de información y las relaciones con el modelo geométrico. De este proceso se obtiene como resultado un directorio global de las informaciones, como también la definición de diferentes productos entregables.

#### Recopilación de datos

- Obtención de la información documental del bien
- Obtención de la información gráfica del modelo
>> Basado en información 3D (escaneo laser 3D: obtención de nube de puntos)  
Basado en información 2D (ortofotos y planos)

#### Modelo HBIM

- Planificación del modelo HBIM
>> Objetivos - Recursos - Usos del modelo
- Elección del equipamiento y softwares en el proceso de datos pre BIM
- Elección del software BIM
- Preparación del entorno de trabajo
>> Elaboración de la plantilla de trabajo HBIM
- Medelización de la geometría
>> Determinar los criterios para la generación del modelo HBIM  
Medelización de la geometría general  
Modelización de las librerías de elementos paramétricos  
Modelado geométrico arqueológico  
Modelado geométrico arquitectónico  
Modelización de los elementos singulares  
Generación de las fases históricas  
Evolución constructiva  
Modelado de patologías  
Representación estratigráfica muraria
- Organización del sistema de información
>> Determinación de parámetros y atributos  
Gestión de datos de los elementos  
Gerenciamiento de las relaciones de los datos
- Generación de los productos entregables

Figura 42. Generación del modelo HBIM, elaboración propia.

### 3.1.4. Obtención de la información gráfica

Una documentación hecha con rigor y precisión con la utilización de las tecnologías digitales garantizará a las futuras generaciones el estudio de las edificaciones de valor patrimonial, en cada fase de su existencia, preservándose su memoria, sin que las alteraciones que estas puedan sufrir a lo largo del tiempo precisen ser contestadas (Muñoz Viñas, 2003). La elección de las tecnologías a ser aplicadas en el estudio e intervención de los edificios históricos dependen de factores como la localización del bien, dimensiones, precisión pretendida, habilidad y conocimiento técnico del equipo, disponibilidad de recursos financieros y tecnologías. Estas tecnologías pueden ser clasificadas a partir del tipo de información que se obtiene, pudiendo ser 2D o 3D. Entre las técnicas de levantamiento de información gráfica las más utilizadas son:

**Medición directa:** es tradicionalmente ejecutada con el auxilio de instrumentos simples como cintas métricas, plomadas y niveles. Sobre esbozos del objeto a ser relevado son anotadas las medidas levantadas en campo. Actualmente es posible trabajar con instrumentos de medición automatizados, como niveles y metros láser.

**Fotogrametría:** a través de fotografías se extrae la geometría de los objetos con la ayuda de softwares como PhotoModeler. Estos programas posibilitan la restitución fotogramétrica, permitiendo generar ortofotos, diseños y modelos geométricos.

**Digital Surface Model (DSM) y Digital Surface Terrain (DST):** estas tecnologías se basan en la utilización de múltiples fotografías tomadas de diferentes ángulos, procesadas a través de softwares como PhotoScan o Metasahpe. Estos programas analizan los píxeles de las imágenes buscando puntos con informaciones similares, de esta forma reconstruyen a través de los puntos la geometría de los objetos, generando como resultado una nube de puntos. La densidad de la nube depende de la cantidad de imágenes que sean tomadas. Esta técnica es útil cuando se necesita mapear grandes superficies, ya que los datos pueden ser tomados por drones y después procesados en softwares de restitución fotogramétrica. Los datos procesados son generados en diferentes formatos, compatibles con herramientas CAD y GIS/SIG como Autocad, ArcGIS, QGIS o Global Mapper.

**Escáner láser 3D:** los datos son recolectados por un escáner láser que, a través de un algoritmo, almacena la posición de cada uno de los puntos levantados, generando un conjunto de puntos con informaciones de ubicación XYZ y RGB a la cual se denomina nube de puntos. La misma puede dar como resultado una malla 2D/3D, ortofotos o productos para aplicaciones de Realidad Virtual y Realidad Aumentada.

#### Flujo de trabajo para importar la información gráfica al modelo HBIM

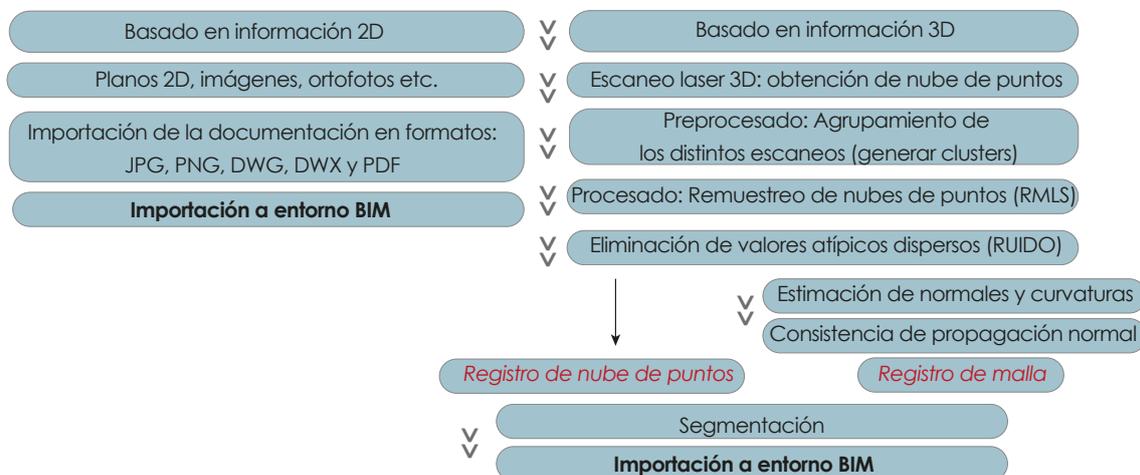


Figura 43. Flujo de trabajo para importar información gráfica al modelo HBIM, elaboración propia.

### 3.1.5. Planificación del modelo HBIM: criterios para la generación del modelo

Un modelo HBIM se basa en la generación de conocimiento, iniciando por los estudios previos con la finalidad de comprender las características del mismo y con ello adoptar una metodología adecuada y rigurosa para su elaboración.

Las edificaciones históricas pueden ser distinguidas por sus singularidades, particularmente por su configuración constructiva y su dimensión temporal. Esto quiere decir el empleo de técnicas constructivas propias y referentes al periodo en el cual fueron construidas, siendo que las técnicas y las tecnologías difieren. La dimensión temporal está compuesta por la superposición de las transformaciones destructivas o constructivas por las cuales el edificio se ve a lo largo del tiempo. Esto define su naturaleza evolutiva, que es analizada mediante el estudio estratigráfico y tipológico.

Estas dos características son el punto de partida para determinar la secuencia histórico-constructiva compuesta por: unidades estratigráficas, actividades constructivas y fases históricas. Como en arqueología, el reconocimiento de las acciones de anterioridad y posterioridad permite establecer una secuencia temporal que ordena las transformaciones del edificio.

### 3.1.6. Organización del sistema de información

Para la organización del sistema de información relativo al modelo es necesario:

- definir la estructura de la base de datos del modelo;
- definir la estrategia de modelado más adecuada, basado en los datos y recursos disponibles - por ejemplo, si se puede construir el modelo a partir de proyecciones 2D o partiendo de datos 3D;
- unificar los datos en un único sistema de referencia;
- establecer el nivel de precisión geométrica y el nivel de detalle deseado para el modelo.

#### Flujo de trabajo para la organización del sistema de información



Figura 44. Flujo de trabajo para la organización del sistema de información, elaboración propia.

### 3.1.7. Organización de las bibliotecas de elementos constructivos

Los modelos virtuales basados en BIM están compuestos por datos geométricos, meta-data y documentos asociados. Los modelos están formados por objetos BIM a los cuales Autodesk denomina como familias y define como “un grupo de elementos con un conjunto de propiedades comunes (llamadas parámetros) y una representación gráfica relacionada”.

Las familias están agrupadas en categorías y las mismas pueden agruparse y denominarse en bibliotecas. Las diferentes variaciones que pueden existir de los elementos son llamados tipos. Cada tipo de familia posee entonces una serie de informaciones, geométricas y no geométricas y estas propiedades son los denominados parámetros. La complejidad y riqueza del modelo BIM está relacionada con la cantidad de datos incorporados a él.

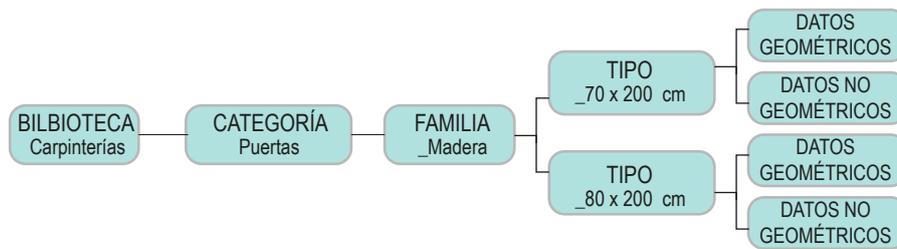


Figura 45. Organización de las familias BIM, elaboración propia.

La metodología HBIM, en la mayoría de los casos, precisa de la generación de nuevas categorías, familias y tipos específicos de las técnicas constructivas del bien patrimonial, ya que, como antes hemos mencionado, BIM tiene más compatibilidad con edificaciones contemporáneas.

### 3.1.8. Tipos de parámetros

Los parámetros son las propiedades de los elementos que conforman el modelo, incluyendo no solo elementos de modelado y de anotación, sino también vistas y planos. Todos los elementos en Revit, por ejemplo, tienen parámetros como nombre, propiedades u otros atributos.

Los parámetros pueden ser:

**Parámetros de sistema:** son aquellos que existen por defecto en los elementos, pudiendo presentarse tanto en un proyecto como en una familia. No pueden eliminarse y modificarse.

**Parámetros de proyecto:** son específicos de un único proyecto y pueden añadirse a las siguientes categorías:

- Categorías de modelo
- Categorías de modelo analítico
- Vistas
- Planos
- Información del proyecto

**Parámetros de familia:** son creados en un archivo de familia y añadidos para controlar las relaciones de geometrías variables u otros atributos de la familia. Un aspecto importante de BIM, como ya se dijo, es la capacidad de contener información en el modelo. Esta información puede presentarse en formas geométricas y no geométricas.

**Parámetros compartidos:** este tipo de parámetros son almacenados en un archivo externo que se llama Archivo de Parámetros Compartidos (.txt). Estos pueden ser compartidos hacia otros modelos y pueden ser: etiquetas, tablas de planificación, parámetros de familias o de proyectos.

**Parámetros globales:** al crearse, no se añaden a todos los elementos de la categoría seleccionada, sino a propiedades específicas (parámetros de tipo/instancia) de elementos específicos. A diferencia de los parámetros de proyecto, solo añaden información a los elementos

### 3.1.9. Estrategias de generación del modelo geométrico

Para ello se debe definir el Nivel de Desarrollo (LOD), comprendido como un conjunto de diferentes subniveles:

- Nivel de simplificación formal: grados de generación de la geometría (Banfi, 2017)
- Nivel de detalle y precisión métrica
- Nivel de división
- Nivel de conocimiento del modelo

**3.1.9.1. Nivel de simplificación formal:** está basado en el artículo de Banfi (2017), el cual distingue once grados de generación (GoG) que pueden simplificarse en tres (Talaverano y Murillo Fragero, 2020), basados respectivamente en:

- creación de nuevos elementos paramétricos con operaciones geométricas estándar, como: extrusión, revolución, barrido, etc., siendo estas menos precisas y más rápidas (GoG 1 a 8).
- empleo de puntos o líneas extraídos de los modelos tridimensionales de levantamiento, como las nubes de puntos. Es posible la generación de elementos irregulares como bóvedas, muros, muestras de desplomes, los cuales demandan más tiempo, pero son más precisos (GoG 9 y 10).
- empleo directo del modelo a partir de mallas triangulares obtenidas en el levantamiento. Se trata de un mayor nivel de precisión y detalle. Para eso, es necesario segmentar la malla, de forma tal de que se pueda obtener los elementos singulares. El problema radica en la conversión de las mallas en elementos paramétricos manejables en entornos BIM.

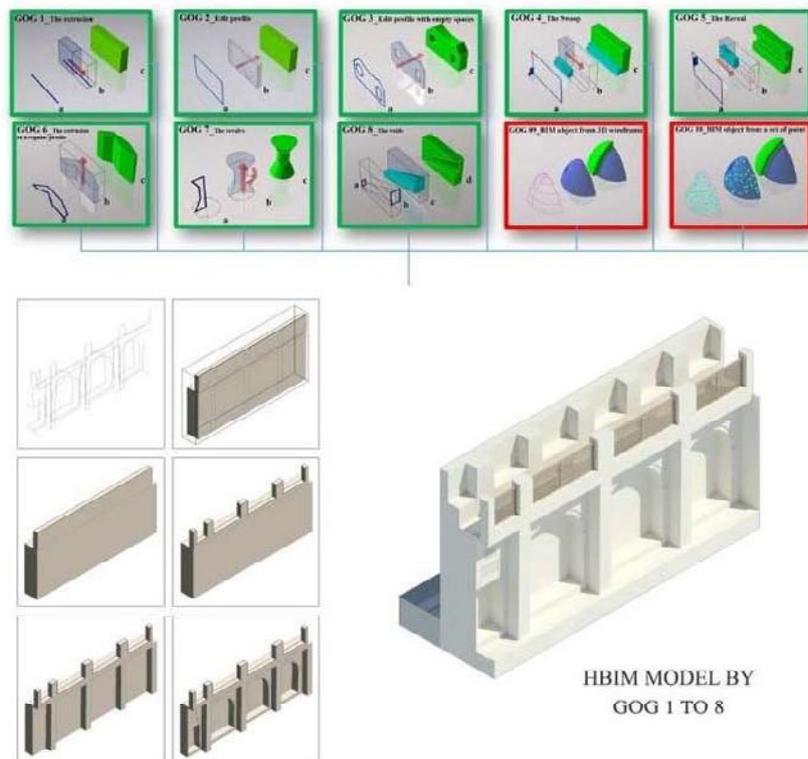


Figura 46. Ejemplo de modelado basado en los primeros ocho GOGs con Autodesk Revit. (Banfi, 2019)

**3.1.9.2. Nivel de detalle y precisión métrica:** este establece en qué medida el modelo se acerca a la apariencia real de la edificación histórica, o sea, si se trata de un modelo realista, simplificado, conceptual o de un concepto simbólico. En cambio, el nivel de precisión métrica establece la desviación máxima admisible en respecto a la geometría real del edificio.

Sin embargo, siempre es necesario asumir algún tipo de simplificación de la geometría, entendiendo que no es el objetivo principal del modelo HBIM aportar una representación realista del objeto. Lo más importante está en la gestión de la información asociada al modelo.

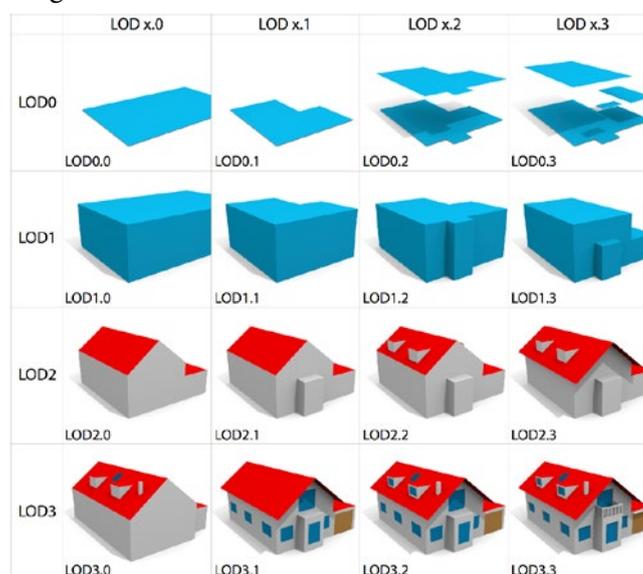


Figura 47. Ejemplo visual de LODs para construcciones residenciales. (F. Biljecki, H. Ledoux y J. Stoter, 2016)

**3.1.9.3. Nivel de división:** determina el criterio de división del modelo, es decir, en qué parte se debe dividir para que se pueda implementar la información de un modo adecuado. Por lo tanto, está ligado al nivel de conocimiento del edificio histórico y con la configuración del sistema de información, que corresponde, a su vez, a los datos que se implementen. (Talaverano y Murillo Fragero, 2020)

Debemos determinar qué tipos de datos queremos implementar y sobre cuáles elementos ellos influyen. En este sentido, los autores Talaverano y Murillo Fragero (2020) proponen dos criterios fundamentales para definir el nivel de división: la configuración constructiva y la secuencia histórica del edificio. La configuración constructiva se refiere a la configuración material y se establece a partir de cuatro categorías de división: modelo sin división alguna, división en zonas, en elementos constructivos y en materiales. La componente temporal está segmentada en cuatro categorías que acompañan la definición de las categorías arqueológicas: sin división, fases históricas, actividades constructivas, unidades estratigráficas.

- División material por características constructivas del edificio:
  - modelo sin división alguna (elemento unitario);
  - división según cuerpos, estructuras o zonas principales;
  - división según elementos constructivos (muros, forjados, bóvedas, etc.);
  - división según materiales constructivos (sillares, mampuestos, vigas, etc.).
- División temporal por secuencia evolutiva del edificio:
  - modelo sin división alguna (elemento unitario);
  - división según las fases históricas;
  - división según las actividades constructivas o destructivas;
  - división según las unidades estratigráficas.

### 3.1.9.4. Niveles de conocimiento (LOK)

En la metodología BIM, para determinar el grado de desarrollo de los modelos existe el concepto de niveles de desarrollo (LOD), el cual está comprendido por el nivel de detalle (LoD) y el nivel de información (LOI). En el caso del patrimonio, el nivel de desarrollo se establece de acuerdo a cada proyecto, basado en sus objetivos, cantidad de información disponible y del estado de la edificación.

Los autores Castellano Román y Pinto Puerto (2019) consideran que no se puede adaptarse el mismo concepto de LOD en BIM de igual manera para ser aplicado al patrimonio cultural (HBIM), siendo importante hacer la adaptación a nivel de conocimiento (LOK). Justifican que el objetivo del modelo es el análisis y generación de conocimiento con respecto al edificio en sí y, por lo tanto, en el enfoque HBIM la prioridad no es alcanzar un modelado tridimensional de alta precisión, sino la exploración de sus capacidades para el estudio arquitectónico, como una forma de conocimiento de la construcción patrimonial. La precisión geométrica es una característica del modelo que puede evolucionar según su nivel de conocimiento y desarrollo, entonces el nivel de detalle se relaciona estrechamente con el nivel de conocimiento; en consecuencia, con la información disponible.

Para la categorización de los niveles de conocimiento los autores proponen cinco niveles con una denominación intencionalmente paralela a la utilizada en la metodología BIM con el objetivo de simplificar el repertorio conceptual generado a su alrededor:

- LOK100: está asociado a la identificación del bien patrimonial, su caracterización básica y el nivel gráfico. La precisión lograda en este momento no es fundamental, ya que un código simbólico como una marca o un volumen simple puede identificar y caracterizar de forma básica el bien, incluyendo su georreferenciación.
- LOK200: permite la caracterización gráfica e información suficiente para el desarrollo de acciones relacionadas con la protección legal del bien y su planificación estratégica. El modelo gráfico debe contener las estructuras básicas como paredes, pisos, techos y también información suficiente para justificar la valoración patrimonial. En este punto debe existir un repositorio documental vinculado al modelo, en el cual se registran las fuentes documentales.
- LOK300: profundiza en la caracterización de entidades gráficas hasta el punto de poder mostrar los resultados de la investigación especializada realizada con metodología arqueológica y otros estudios disciplinarios específicos de seguimiento y diagnóstico.
- LOK400: incluye acciones de conservación e intervención sobre los elementos del bien, requiere información específica sobre los criterios y los procedimientos a ser empleados.
- LOK500: se ocupa de los modelos HBIM utilizados para la gestión, registrando sistemáticamente las diferentes acciones previstas. (Castellano Román y Pinto Puerto, 2019)

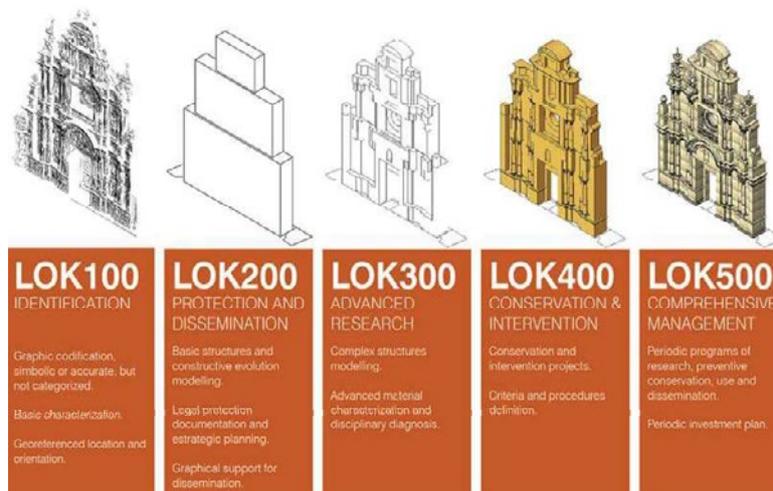


Figura 48. Esquema de caracterización del nivel de conocimiento LOK en HBIM. (Castellano Román y Pinto Puerto, 2019)

### 3.1.10. Generación de plantillas

Las plantillas o templates son el punto de partida para trabajar en un modelo, ya que contienen los elementos y configuraciones básicas que se necesitan para iniciar cualquier tipo de proyecto. De este modo, un grupo de trabajo tiene creadas sus distintas plantillas para sus diversos proyectos, y esta es una forma eficiente y estandarizada de trabajar.

En el caso de HBIM, es necesario trabajar con plantillas predefinidas que nos permitan trabajar de manera más ágil. Para ello, se deben adaptar algunos de estos aspectos:

- Unidades
- Familias fundamentales
- Plantillas de planos
- Fuente de texto
- Formatos de anotación
- La organización del navegador de proyectos
- Visualización gráfica

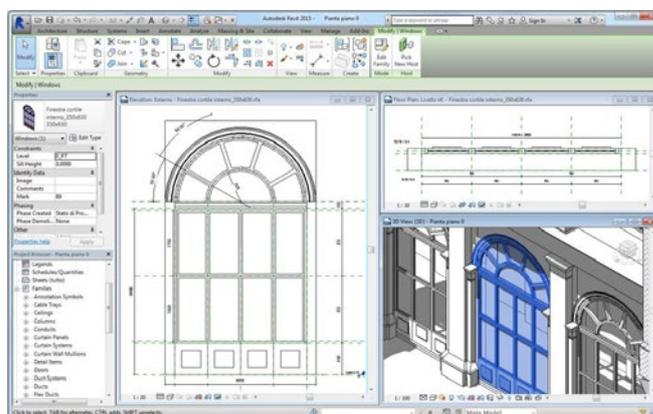


Figura 49. Familia de ventana en Autodesk Revit 2017, fuente: <https://bimon.it/>.

### 3.1.11. Biblioteca de materiales

Una biblioteca de materiales es una colección de materiales y objetos relacionados a los elementos constructivos. Es la principal fuente de información sobre los tipos materiales del modelo, los cuales deben ser cargados, organizados y configurados a partir del relevamiento de los mismos. Las bibliotecas pueden subdividirse mediante la introducción de categorías y la clasificación de los materiales en tales categorías como, por ejemplo, hormigón, metal y vidrio. Las bibliotecas y categorías creadas por el usuario se pueden organizar de varias formas como, por ejemplo, según el uso o el nombre del proyecto.

Las propiedades que definen un material se organizan en objetos. Los objetos son grupos de propiedades que controlan varias características o comportamientos de un objeto. Revit, por ejemplo, utiliza los siguientes tipos de objeto para definir los materiales:

- Identidad: estas propiedades proporcionan información general sobre el material, como la descripción, el fabricante y datos de coste.
- Gráficos: controlan la visualización del material en vistas sin renderizar.
- Apariencia: esta propiedad controla la visualización del material en vistas renderizadas, vistas realistas o vistas de trazado de rayos.
- Físico: esta propiedad es utilizada para el análisis estructural.
- Térmico: esta propiedad es utilizada para el análisis energético. (Autodesk, 2021)

En el caso de los materiales históricos, se debe crearlos y configurarlos para una coherencia gráfica del modelo.

## 4. La Iglesia de San Lorenzo

### 4.1. Emplazamiento

Se sitúa en el espacio urbano primigenio en el que se situó la Valentia romana, delimitado por el primer anillo establecido por el perímetro de la muralla del periodo republicano. Como también dentro del espacio correspondiente al viejo recinto amurallado musulmán. En la actualidad, forma parte del actual centro histórico de la ciudad de Valencia, ubicada precisamente en la Plaza de San Lorenzo, frente al Palacio de los Borja, construido en el siglo XV y actual sede de las Cortes Valencianas.

Este sector del barrio se caracteriza por su cercanía al centro cívico de la ciudad y por la abundante presencia de edificios de carácter señorial, al haberse convertido, tras la Conquista y el Repartiment, en un enclave de tradicional asentamiento nobiliario.



Figura 50. Entorno actual de la Iglesia de San Lorenzo, Google Earth 2020.

### 4.2. Origen

Después de la reconquista de Valencia, D. Jaime I dotó económicamente a la Catedral, así como a las doce primeras parroquias de la ciudad - entre ellas, la de San Lorenzo - para que pudieran comenzar a funcionar, cumpliendo el voto que hiciera en las Cortes de Monzón (1236) al iniciar la fase final de su cruzada.

Las parroquias que se crearon en la ciudad de Valencia tras la reconquista no solo tenían un sentido religioso como también actuaban como unidad de delimitación de los sectores o distritos urbanos.

En el repartimiento general que hizo el rey D. Jaime I en 1239 fueron separadas en el barrio destinado a los guerreros de Cataluña unas casas que, agregadas a una mezquita, formaron una iglesia. Posteriormente esta fue reedificada, y para que tuviese una capilla de comunión más amplia, D. Nicolas Catalá de Valeriola cedió un pedazo de solar que poseía junto a la iglesia, colocando para memoria una lápida en lo alto exterior del muro. (Boix, 1849)

En el año 1239, en el real registro Memoriarum de Domibus Valencite la iglesia ya era denominada San Lorenzo, a diferencia del Libre del Repartiment en el cual todavía es menciona como la casa de Mahomat Amançor. A partir de 1245 se relaciona al sacerdote Pedro Eiximenis como uno de sus primeros rectores. (Ferrer Orts, 2016)

### 4.3. La Parroquia de San Lorenzo

Localizada la Plaza de San Lorenzo, en el intramuros de la ciudad de Valencia, su construcción fue llevada a cabo a lo largo de los siglos XIII y XIV, realizada sobre los restos de una antigua mezquita árabe.

Según fuentes documentales, en el siglo XV se realizó una intervención parcial en el interior de la parroquia financiada por el caballero Nicolas Catalá de Valencia: se trataba de una capilla lateral a los pies del edificio, la cual fue demolida entre 1908-1909 para dar paso al convento franciscano anexo. Era una construcción de tipología gótica con bóvedas de crucería, que seguramente pudo servir de capilla privada.

A mediados del siglo XVII, precisamente en 1656, consta en escritos las contrataciones del maestro de obras Jerónimo Bexet para la construcción de una casa cercana al cementerio de la parroquia. En 1662 se contrató al escultor Vicente Mir la realización de dos pilas de piedra para la sacristía y al pintor José Tora la ejecución de candelabros y escaleras. Estas ejecuciones no se hicieron efectivas hasta finales del último cuarto de siglo ya que, en 1682, el gremio de zapateros, que tenía en San Lorenzo su capilla corporativa dedicada a San Crispín y San Crispiniano, acordó reformarla con el maestro de obras Tomás Alepuz. En estos años se procedió al derribo del antiguo templo medieval y a la construcción de una nueva iglesia, basada en las trazas de Gaspar Díez, por parte del maestro de obras Agustín Maiques. Se modificó el espacio medieval a uno barroco, aprovechando algunas de las preexistencias como la cimentación y los contrafuertes medievales. El edificio resultante incluyó las dos portadas obra del arquitecto Pedro Angost y del cantero Bernardo Pons, todavía existentes en la actualidad. La decoración y a la torre campanario fueron añadidas en la primera mitad del siglo XVIII. (Ferrer Orts, 2016)

Además de la renovación de las fábricas, el edificio fue dotado de obras de arte muebles y decoración barroca. En 1683, se construye un nuevo retablo diseñado por Tomás Vergara y ejecutado por el reputado escultor Leonardo Julio Capuz.



Figura 51. Vista de la iglesia de San Lorenzo desde la Plaza de San Lorenzo.(finales década de 1960 y 2021).

En 1743 se encarga la construcción de la torre campanario al arquitecto José Mínguez, y esto significó la elevación de un campanario en el lado de la Epístola de la capilla mayor justamente en la parte contraria en la que estuvo la torre medieval. Tratase de la misma época en que se sospecha que fueron pintados al fresco cuatro óvalos con escenas bíblicas, los cuales se ubicaron en el centro de cada uno de los tramos de la bóveda.

En el siglo XVIII, precisamente en 1770, tres de los arquitectos académicos más destacados del período, Antonio Gilabert, Vicente Gascó y Juan Bautista Mínguez, presentaron un informe a la

Real Academia de San Carlos de Valencia evaluando grietas detectadas en las arcadas y las bóvedas del edificio, circunstancia que nos hace pensar que entonces comenzaron a aparecer los primeros problemas estructurales en el mismo, los cuales se agravaron cuando el 5 de marzo de 1822 un sismo hizo oscilar levemente el campanario provocando algunas fisuras en su caña.

A partir del siglo XX la iglesia fue profundamente alterada: en principio se demolió la mayor parte de la capilla de los Català de Valeriola para poder construir el convento en el pequeño solar anexo. Esto condicionó, la construcción de la capilla de la Comunión, la cual fue levantada sobre pilares achaflanados y cubierta por tres bóvedas vaídas ligeramente peraltadas (decoradas a través de ocho registros) y una falsa cúpula en el altar. Se eliminaron las capillas del lado del Evangelio y el templo se convirtió en parcialmente claustral. Por otro lado, se modificó la cubierta y se rehízo el tramo de la cabecera, lo que obligó a redecorar el templo. Por último, fue realizada la construcción de un coro elevado a los pies de la iglesia para que los religiosos franciscanos pudieran escuchar misa accediendo directamente desde el vecino convento. (Ferrer Orts, 2016)

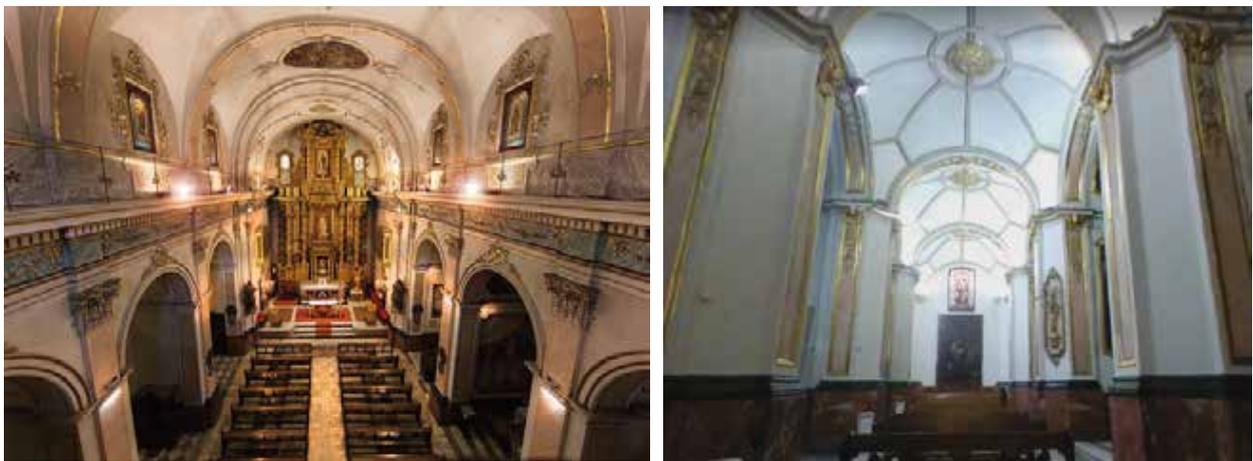


Figura 52. Vista interior de la Iglesia de San Lorenzo; García-Valldecabres, 2017.

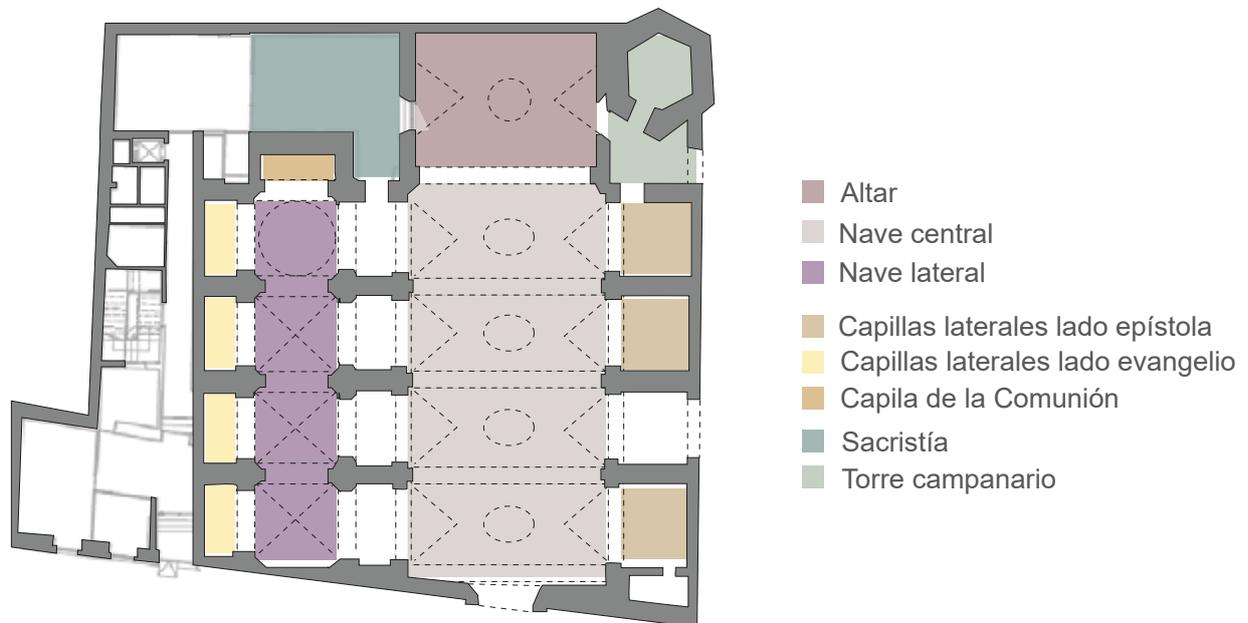


Figura 53. Planta baja de la Iglesia de San Lorenzo, elaboración propia.

#### 4.4. Tipología original

El edificio original de la iglesia de San Lorenzo respondía a una tipología conocida como de reconquista, catalana o mediterránea, la cual se caracterizaba por su austeridad y era conformada por amplios arcos diafragmas ligeramente apuntados de piedra o ladrillo, así como por la tabiquería, tejado a dos vertientes, puerta lateral y capillas entre los contrafuertes (Fig. 54).

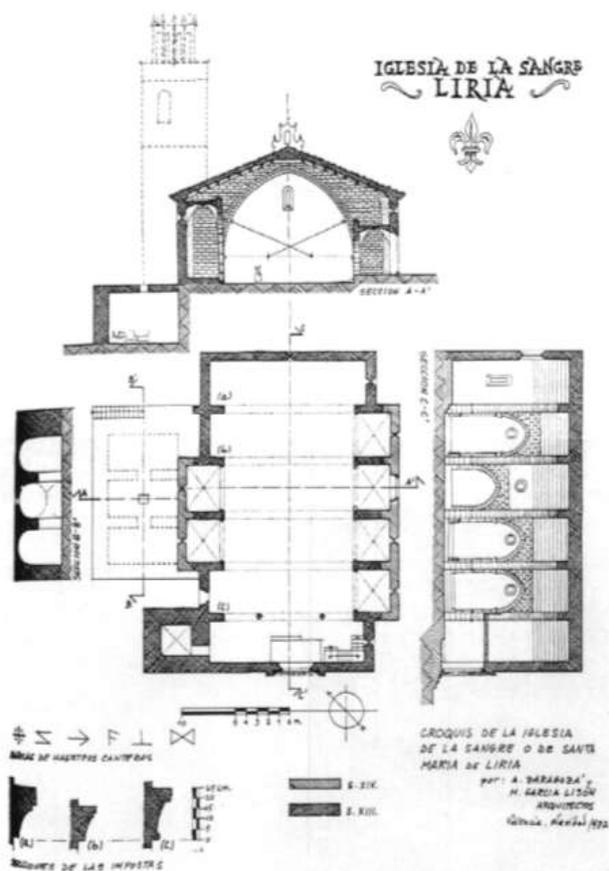


Figura 54. Interior, planta, alzado y secciones de la Iglesia de la Sangre de Liria (<https://www.comunitatvalenciana.com/>, 2021; A. Zaragoza y M. García Lisón, 1982).

La iglesia actual de San Lorenzo es producto de la remodelación realizada en el siglo XVII, pasando de su configuración medieval a la barroca. Para eso, se derribó su construcción primitiva hasta la línea de impostas, conservando sus contrafuertes y elevando su altura con ladrillo. Además, se abrió a esta una puerta lateral conjuntamente con la entrada original y se realizaron trabajos de cantería dotando las portadas de piedras y cubriéndose con una bóveda tabicada ligeramente rebajada con lunetos que acogen las ventanas cenitales.

#### 4.5. Descripción del edificio

La iglesia inicialmente estaba conformada por una única nave, siendo que posteriormente se incorpora una segunda nave lateral del lado del evangelio, la cual se cubre con bóveda de medio cañón con lunetos, cuatro capillas laterales, coro alto a los pies donde se sitúa el órgano. El edificio tiene una decoración arquitectónica de estilo corintio, pilastras con decoración plateresca y capillas laterales en ambas naves.

En las bóvedas de la nave central se incorporaron en el siglo XVII cuatro óvalos pintados, uno en cada tramo de la bóveda del techo, que representan escenas de la vida de San Lorenzo. Existe un retablo mayor, de estilo Barroco, que fue realizado aproximadamente en 1683 por Leonardo Julio Capuz según trazas de Tomás Vergara.

El templo dispone de dos portadas, una de ellas a los pies de la iglesia, y la otra que es la entrada habitual al templo en uno de los laterales en Carrer de los Francescanos. La iglesia está conectada al convento a través de aberturas internas en el altar y al lado de la Capilla de la Comunión.

Hacia 1895 se sustituyó la cubierta, probablemente de tabiquillos, por una formada por cerchas metálicas y de madera que sujetaban un tablero formado con tejas planas, procedentes de fábricas de Alicante. Esta actuación se encuentra documentada en el Archivo de la Diputación de Valencia.

#### 4.5.1. Sistema constructivo

La edificación de la iglesia se asienta, como decíamos, sobre construcciones precedentes, y esto es fundamental para comprender la evolución del edificio a lo largo del tiempo, ya que en un principio previo a la reconquista cumplía las funciones de mezquita. La Iglesia de San Lorenzo obedece a una topología constituida por una sola nave principal, que es conformada por la suma de bóvedas de cañón con acceso lateral y que con el tiempo fue sufriendo diversas modificaciones. El edificio se apoya sobre un suelo próximo al Río Turia, que presenta una topografía casi plana y se caracteriza por la presencia de limos de inundación y limos arenosos de carácter fluvial, depositados por el Río Turia a lo largo de la historia. También es probable la existencia de ruinas romanas, con lo cual no se puede descartar la presencia de rellenos. Se mantiene la hipótesis de que las cimentaciones están conformadas por sillares y en algunos sectores de ladrillo. Los muros de la iglesia están levantados con ladrillo macizo y mortero de cal. No se pudo acceder a la disposición real de los ladrillos, pero teniendo en cuenta el espesor de los cerramientos, se pueden tomar como hipótesis algunos tipos de trabas. Con respecto a la cubierta, en finales del siglo XIX reemplazaron una cubierta plana realizada con tirantes de madera y ladrillos que se apoyaba sobre los arcos fajones por una nueva de mayor pendiente, realizada con cerchas metálicas, tirantes de madera y tejas de Alicante.

#### 4.5.2. Sistema estructural

El primitivo edificio medieval probablemente haya sido construido con arcos diafragma soportados por contrafuertes, siendo que más tarde, en el siglo XVII a partir de diversas intervenciones se sustituyó el sistema de cubrimiento, incorporando las bóvedas de cañón con lunetos y arcos fajones y eliminándose así el sistema constructivo medieval. Para ello, fue necesario demoler el edificio hasta la línea de imposta aprovechándose los preexistentes contrafuertes para dar paso a los arcos fajones y a las bóvedas de cañón.

A través del estudio del edificio puede distinguirse la existencia de cinco arcos fajones y cuatro bóvedas de cañón pertenecientes a la nave. Los arcos fajones que encontramos en la iglesia son de la tipología de medio punto, mientras que las bóvedas de cañón están hechas en ladrillo macizo de 30 x 15 x 5 cm y enlucido de yeso. El espesor de las bóvedas es de 20 cm, incluyendo 2 cm de yeso, y una hipótesis constructiva es que esté realizada con 3 láminas de ladrillos utilizadas por su lado largo con un mortero de yeso.

La torre campanario fue construida en el siglo XVIII, realizada en ladrillo con un enlucido imitando sillería y con cimentación de piedra.

Cuando se amplía la iglesia hacia el lado del monasterio, se nota que se incorporó una cúpula. La solución constructiva de esta es la de una bóveda tabicada de doble ladrillo tomada con yeso, sobre la cual se disponen pequeñas costillas y sobre estas un solo ladrillo de panderete tomado y trasdosado con yeso, generando así un cajón hueco. (A. Zaragoza, R. Soler, R. Marín, 2012)

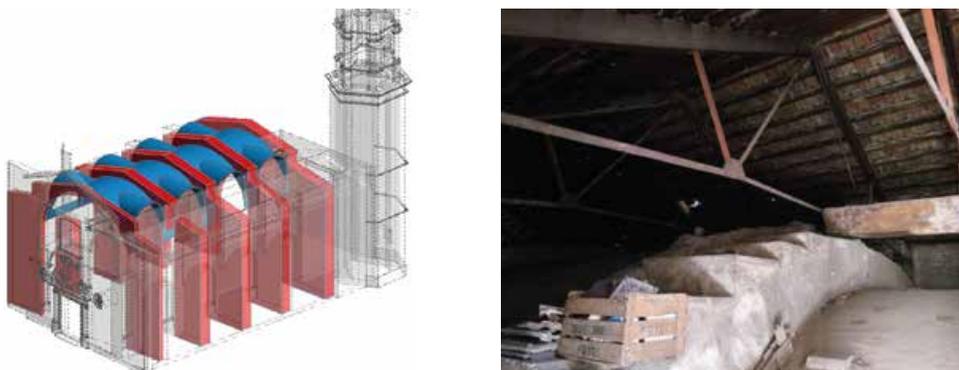


Figura 55. Sistema estructural de arcos y bóvedas de la Iglesia de San Lorenzo, elaboración propia. Imagen de la estructura de la cubierta de la Iglesia de San Lorenzo; García-Valldecabres, 2017.

#### 4.6. La ampliación y construcción del convento franciscano de San Lorenzo

A principios de 1908 la iglesia volvió a ser utilizada por los franciscanos menores, quienes adquirieron un pequeño solar anexo que coincidía con el antiguo cementerio e iniciaron el derribo de la mayor parte de la capilla de los Valeriola (a los pies del edificio), de la sacristía y de diversas dependencias para poder construir el convento, así como la capilla de la Comunión en el lado del Evangelio. La traza del mismo fue obra de fray Maseo Company y su construcción fue responsabilidad del maestro de obras Rafael Sancho de Godella, quien lo remató en noviembre de 1909.

Entre 1912-13 se hacen intervenciones en las bóvedas por amenazar la ruina, según dictamen del arquitecto Antonio Martorell, renovándose integralmente las bóvedas del presbiterio, lo que obligó a su redecoración y, al mismo tiempo, a la colocación de un nuevo pavimento. Para ello se procedió al desmontaje de la techumbre, sustituyéndose por una nueva de mayor pendiente, manteniendo como vestigio la parte de la cubierta correspondiente a la cabecera, cerrada por teja árabe, pares de madera, viguetas apoyadas en una gran viga central como única reminiscencia de la estructura de la cubierta de la época barroca. La nueva cubierta sobre la nave se realizó con cerchas de hierro y teja catalana, respetando la bóveda tabicada seiscentista original.

Años más tarde, en 1916, por la necesidad de adecuar la fachada que recae en la plaza de San Lorenzo y, al mismo tiempo, confronta con el antiguo palacio del duque de Gandía, la comunidad franciscana encargó al arquitecto Javier Goerlich Lleó un proyecto para la misma. A pesar de las advertencias del arquitecto del Ayuntamiento de Valencia Francisco Mora, se diseñó una fachada ecléctica.

En 1921 se reforzó la parte superior de las capillas de lado de la Epístola, precisamente entre el campanario y el coro alto con vigas de hierro con el fin de instalar una máquina tipográfica.

El 20 de julio de 1936, por efecto de la guerra civil, la iglesia se cerró al culto y la comunidad se dispersó. El conjunto pasó a manos de la República y se perdió la mayor parte del archivo, así como ornamentos y libros. Los edificios de la iglesia y convento fueron convertidos en oficinas y depósito almacén.

En 1939 los franciscanos volvieron al convento, encontrándolo en pésimas condiciones por su anterior uso, con grandes alteraciones y destrozos. A partir de este mismo año y de los subsiguientes se realizaron adecuaciones en el templo para devolver la dignidad al conjunto franciscano. (Ferrer Orts, 2016)

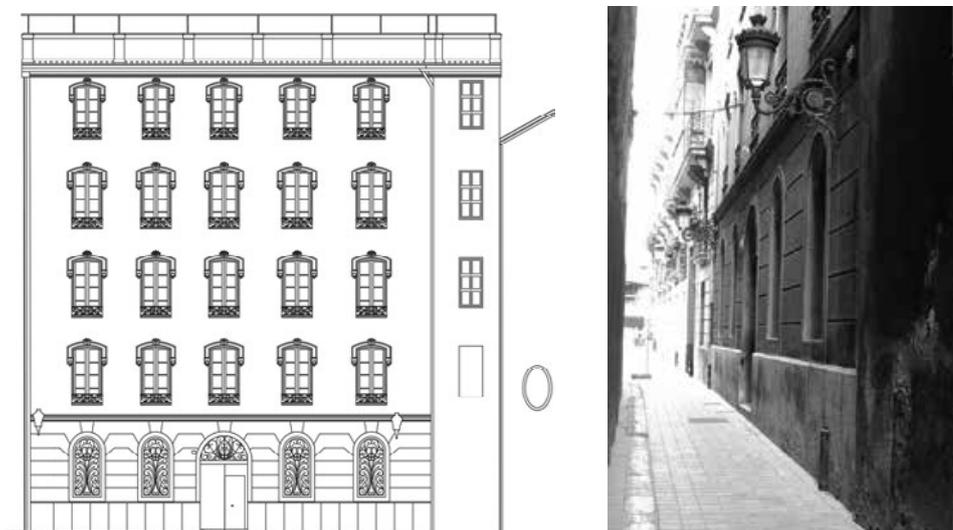


Figura 56 . Alzado e imagen de la fachada del Convento de San Lorenzo. Fachada del trabajo de los alumnos; Assunti, Figuera, Marti, Mjema, 2018

#### 4.7. Las transformaciones del edificio según los grabados y planos históricos

A continuación, nos servimos de la cartografía histórica de forma orientativa para formar una hipótesis sobre las transformaciones de la Iglesia de San Lorenzo en el tiempo.

Según fuentes documentales escritas, la torre campanario original se encontraba en la esquina ente el atrio y lado epistolar, su caña era pétreo con aberturas en el cuerpo superior para habilitar las campanas. Estas afirmaciones pueden ser comparadas con el grabado de Anton Van den Wyngaerde y el plano de Mancelli.



Figura 57. Vista de Valencia Antón Van den Wyngaerde (1563).

En el plano de Mancelli podemos distinguir el edificio primitivo de una nave y una torre campanario.



Figura 58. Plano de Valencia de Antonio Mancelli (1608)

En el siglo XVII, con la transformación del templo, el campanario medieval fue derribado, quedando el edificio por algunos años sin él. Esto queda evidenciado en el plano de Tosca de 1704 y 1738, donde se muestra la volumetría de la nueva construcción ampliada todavía sin la construcción de la nueva torre. En este se puede ver la capilla lateral a los pies del edificio perteneciente a Nicolas Catalá Valeriola.

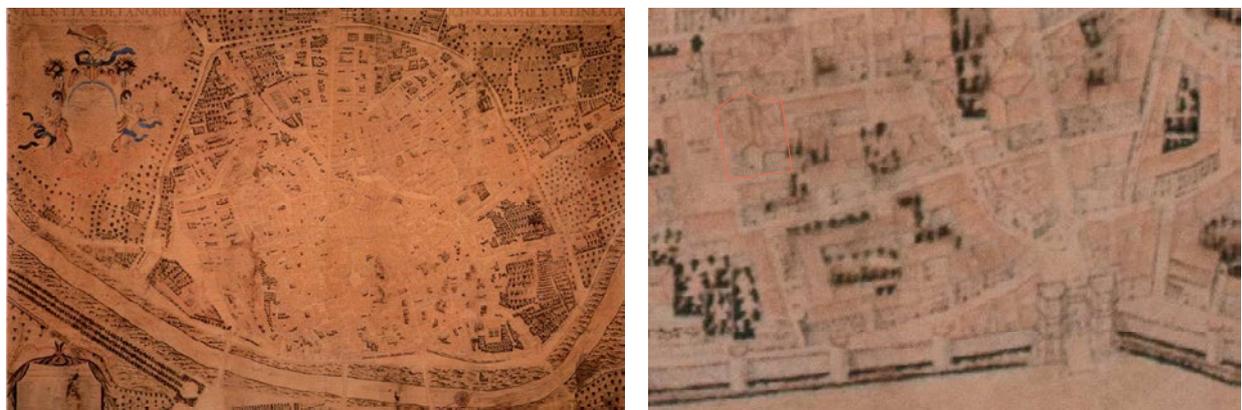


Figura 59. Plano de Tomàs Vicent Tosca (1704).



Figura 60. Plano de Tomàs Vicent Tosca (1738).

Pasado el siglo XVIII, se levantó la torre del nuevo campanario existente en la actualidad. Se trataba de una torre esbelta de forma hexagonal fabricada con mazonería y ladrillo y fue cambiado su emplazamiento original colocándose en la fachada principal al lado del altar mayor.

En el grabado de Guesdon de 1858 aparece claramente la torre actual y la volumetría de las capillas laterales preexistentes.

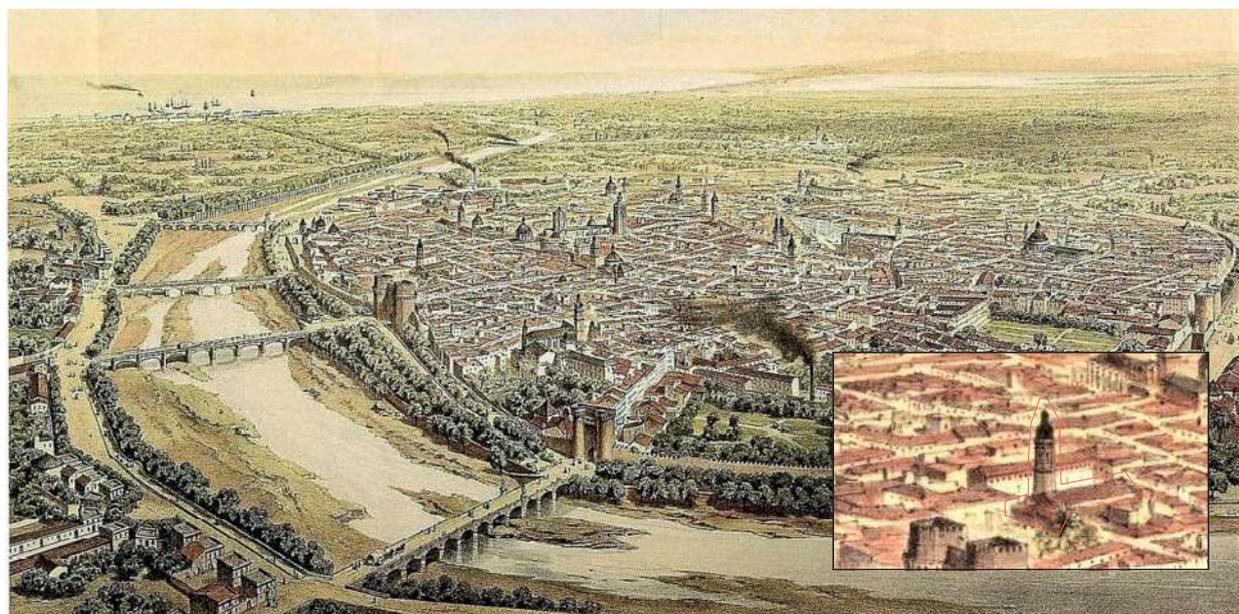


Figura 61. Valencia a vista de pájaro, grabado realizado por Alfred Guesdon (1858).

#### 4.8. Fuentes documentales escritas referentes al edificio

TEIXIDOR, FR. JOSEF; CHABAS, ROQUE (1767) *Antigüedades de Valencia*.

Teixidor ubica la parroquia de San Lorenzo, dentro de los límites de la ciudad de Valencia, marcando que es parte de las primeras fundadas después de la reconquista y producto del Repartimiento de Valencia de 1239.

BOIX, VICENTE (1849) *Manual del viajero y guía de los forasteros en Valencia*.

Según Box, la iglesia de San Lorenzo es producto del reparto general que hizo el rey D. Jaime en 1239, donde separó en el barrio para los guerreros de Cataluña unos terrenos con casas que, agregadas a una mezquita, conformaron la iglesia. La misma posteriormente fue reedificada, y para que tuviera una capilla comunitaria de mayor capacidad Nicolas Catalá de Valeriola cedió un pedazo de solar que poseía junto a ella.

CRUILLES, MARQUÉS DE (1876) *Guía urbana de Valencia: antigua y moderna*.

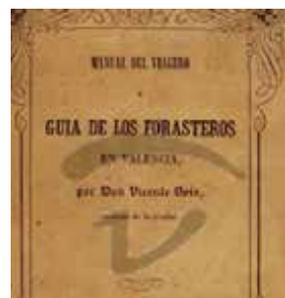
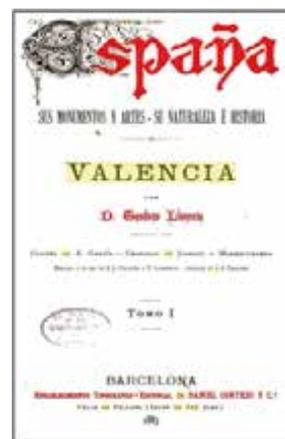
En este escrito el autor afirma que no tiene certezas sobre el origen de la iglesia, pero habla que la misma fue erigida sobre una mezquita y bendecida por la devoción al santo Mártir. El registro del primer rector es datado en 1245 con el nombre de Pedro Giménez y la sección de tierra de Nicolas Catalá de Valeriola es del año 1488 - siendo que en el muro de la iglesia ha sido incrustada una lápida con sus armas.

Junto con la parroquia, aún según el autor, coexistía un cementerio, y a principios de 1682 se comenzó la renovación del templo terminándose el 9 de agosto de 1684. En respecto a este, observa que “aunque se infiere que no debía ser muy notable la arquitectura antigua de esta iglesia, aún lo son menos los ornatos de arte que se suponen introducido en esta renovación, la mejor memoria que subsiste de ella son las perspectivas pintadas en las bóvedas del presbiterio de mano de D. Antonio Palomino”. Describe que “La iglesia es de una sola nave, con cuatro arcos a cada lado, tiene una puerta a los pies y otra lateral; las capillas de San Francisco y otros titulares, que es de los zapateros, está adornando con profusión, y tiene buena forma así como la inmediata de San Gil, co-titular de esta parroquia”.

“La forma de esta iglesia es rectangular: con bóveda de medio punto con lunetos; el orden arquitectónico es corintio, con pilastras, y su adorno de gusto plateresco. Sus dimensiones son: longitud de 27 metros 15 centímetro, latitud 9 metros 70 centímetros, y la elevación has la cornisa 9 metros y 8 centímetros.”  
“La capilla de la Comunión está a los pies de la iglesia, guarda el orden jónico, y es sumamente rebajado el cascaron de su bóveda.”

MARTÍNEZ ALOY, D (1887) *España sus monumentos y artes, su naturaleza e historia, Valencia, Tomo I, Barcelona*.

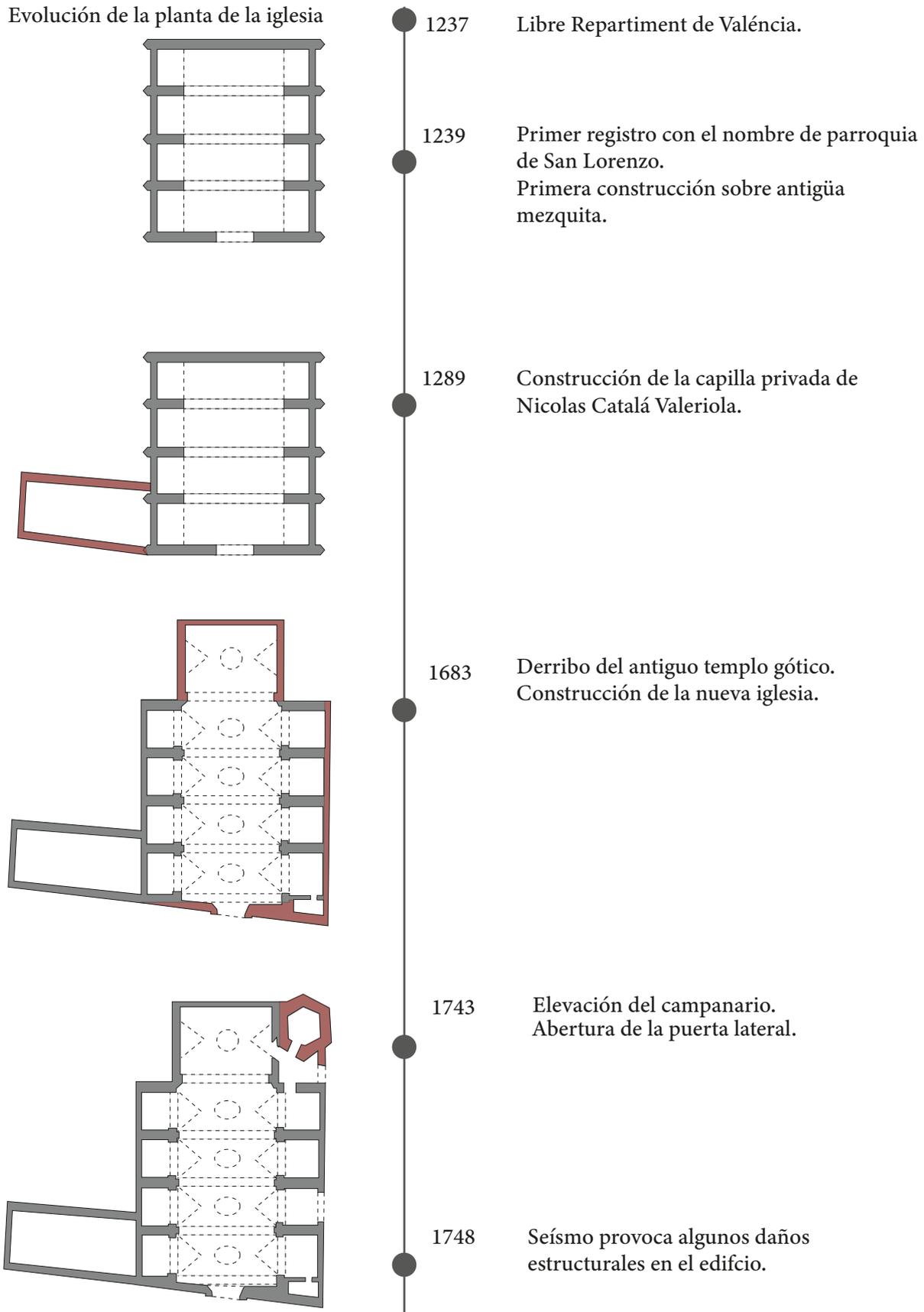
Esta obra presenta una escasa reseña sobre la parroquia: “En las familias numerosas, entre muchos hermanos ricos, siempre suele haber alguno pobre. Este papel le ha tocado, entre las parroquias de Valencia, a la de San Lorenzo mártir. En el recinto murallado de la ciudad tenía corta feligresía en un barrio exentrico; la mayor parte de sus parroquianos eran (y son todavía) labradores pobres de la huerta. Nada hay de notable en la iglesia: ni cuadros de méritos, ni primorosas imágenes, ni alhajas antiguas, ni recuerdos históricos de importancia. El edificio, de modesta construcción y traza vulgar, tampoco merece una visita.”



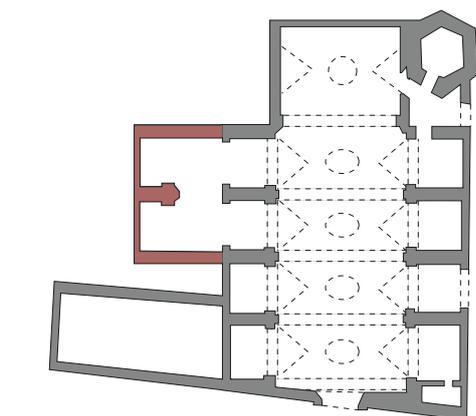
## 4.9. Hipótesis cronológicas de las transformaciones del edificio

Partiendo de la revisión de las fuentes documentales y cartografías consultadas, se establecen las siguientes hipótesis históricas del edificio a través de la cronología de los hechos registrados.

Evolución de la planta de la iglesia

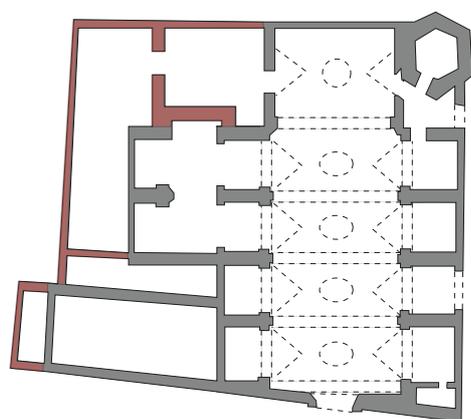


## Evolución de la planta de la iglesia



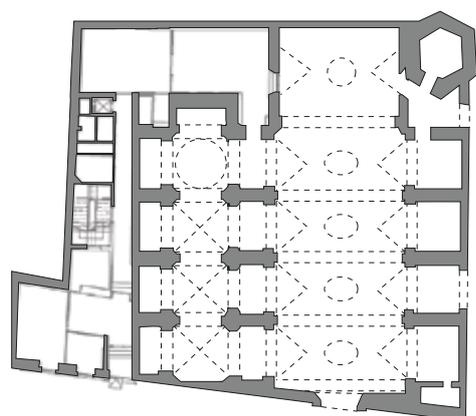
1853

El edificio aparece con la ampliación de dos capillas laterales en el plano geométrico y topográfico de la ciudad de Valencia del Cid de Coronel D. V. Montero de Espinosa.



1892

En el Plano geométrico de Valencia aparece la sacristia y una construcción adosada a la Iglesia.



1909

Construcción de la capilla de la comunión y convento.  
Cambios de cubierta.  
Primeras restauraciones en las bóvedas.

1916

Goerlich Lleó modifica las fachadas de la iglesia.

1936

Cierre por problemas estructurales.

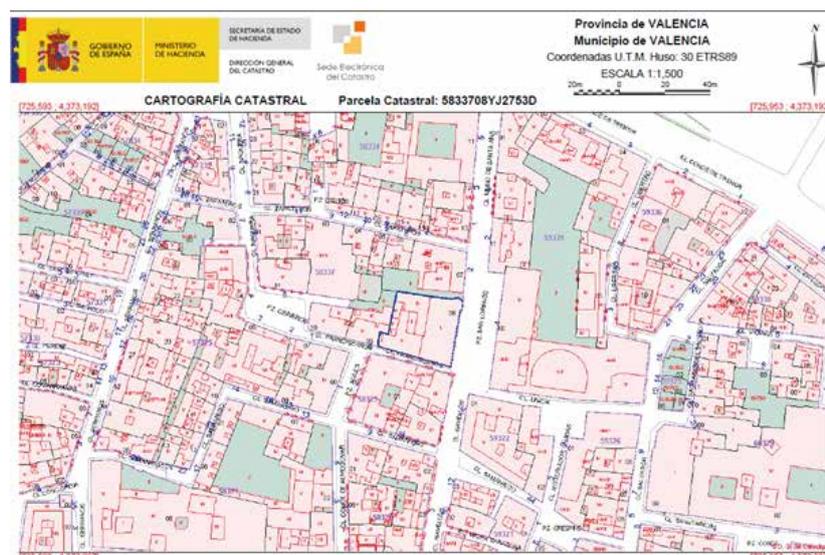
1939

Vuelta al convento de los Franciscanos.

1939-44

Adecuaciones del edificio.

## 4.10. Normativas de aplicación



Localización:  
calle Franciscanos 4

Clase: Urbano  
Uso principal: Residencial

Superficie construida: 2.084 m<sup>2</sup>  
Superficie de parcela: 855 m<sup>2</sup>

Referencia catastral:  
5833708YJ2753D0001GA

Figura 63 . Ficha catastral del inmueble.

Son normativas de aplicación para este inmueble el Plan General de Ordenación Urbana de Valencia (PGOU) y el Plan Especial de Protección Ciutat Vella (PEP Ciutat Vella).

La calificación urbanística del sector es de Conjunto Histórico Protegido (CHP-1) Ciutat Vella, en el área de Seu-Xerea.

### Ordenación estructural

Clasificación del suelo: la clasificación del suelo del ámbito del PEP Ciutat Vella, de acuerdo al PGOU, la Iglesia de San Lorenzo se encuentra dentro del suelo urbano consolidado de la ciudad de Valencia, constando con todos los servicios urbanísticos completos.

Zona de Ordenación Estructural: de acuerdo con las determinaciones del PGOU, este ámbito se define como parte de la Zona Uso Global Residencial, Zona Conjunto Histórico (BIC-CHP) y dentro de la Subzona CHP-1: Ciutat Vella (incluye el recinto amurallado “Ciutat Vella”).

### Ordenación pormenorizada

La edificación está dentro de la subzona de ordenación pormenorizada trama histórica (THC), según la calificación del suelo, y dentro de la unidad de ejecución UE 2 Seu-Xerea.

## 4.11. Protección del bien

El edificio se encuentra protegido dentro del área central como Bien de Interés Cultural (BIC) del área central: recinto amurallado de Ciutat Vella y primer ensanche. La Iglesia también está dentro del catálogo de patrimonio protegido como Bien inmueble de Relevancia Local (BRL), según la disposición adicional quinta de la Ley 4/1998 de 11 de junio de la Generalitat Valenciana, referente al Patrimonio Cultural Valenciano.

En el Plan Especial de Protección Ciutat Vella, la edificación se encuentra catalogada como patrimonio cultural individualizado con el código C2.25 y dispone de una protección general integral incluida en el entorno de protección de BIC y del área de vigilancia arqueológica (AVA). Está incluida dentro del área de entorno del BIC del Palacio de los Catalá de Valeriola y en su entorno predominan los edificios monumentales con usos cultural e institucional.

Las valoraciones de interés, según el PEP Ciutat Vella, son de índole arquitectónico, histórico, etnológico y paisajístico.

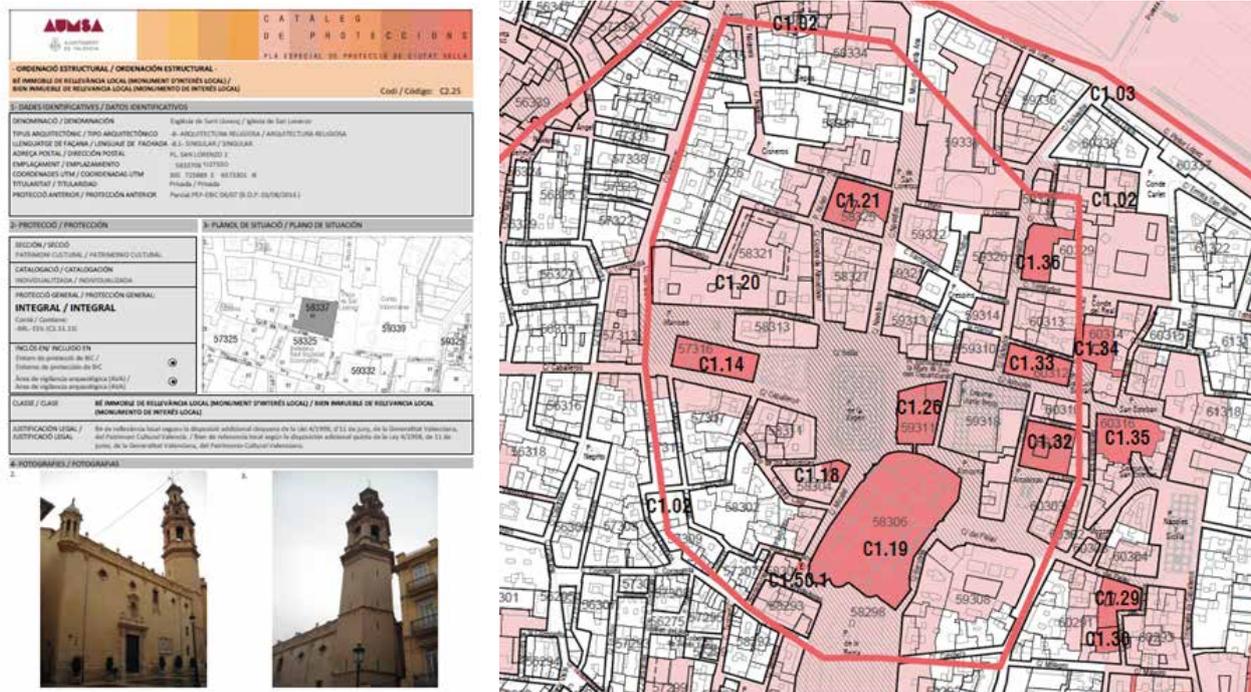


Figura 64 . Ficha del PEP Ciutat Vella y entorno de protección de BIC.

## Nivel de protección

El PEP Ciutat Vella dispone de niveles de protección general. Para la Iglesia de San Lorenzo es aplicada la protección general integral ya que, como define el plan, sus valores se presentan de manera generalizada en el elemento o conjunto, lo que supone que la mayoría de sus componentes principales tienen interés de cara a su conservación y, además, poseen un carácter material.

El plan también remarca que puede existir algún componente, además de los anteriores, que presente interés para la conservación de carácter ambiental o tipológico. Los componentes caracterizados como irrelevantes o impropios deberán por tanto ser minoría.

Están protegidos y tienen la consideración de BRL los elementos decorativos y bienes muebles relacionados directamente con el bien patrimonial.

## Actuaciones permitidas

Los tipos de actuaciones permitidas según el PEP Ciutat Vella son sobre los componentes son:

- Mantenimiento; cuando las actuaciones se limitan a la mera conservación de lo existente;
- Rehabilitación; cuando unas partes se conservan, otras se restauran y otras se acondicionan para nuevos usos o para la recuperación de los antiguos;
- Restauración; cuando las actuaciones se dirigen a que la totalidad del componente recupere el aspecto original o la funcionalidad que hubiera perdido;
- Acondicionamiento; cuando en un componente las acciones realizan cambios en su aspecto o funcionalidad para aminorar el impacto sobre otros componentes que se pretenden conservar;
- Eliminación; cuando lo que se pretende es la desaparición del componente por su incompatibilidad con el resto de componentes que se pretenden conservar.

## 5. Aplicación experimental de HBIM: la Iglesia de San Lorenzo de Valencia

Con el objetivo de aplicar las ventajas de la metodología HBIM en el edificio de la Iglesia de San Lorenzo de Valencia, se implementa un flujo de trabajo basado en las acciones y fases de la tutela del patrimonio cultural antes estudiadas.

Se propone una serie de pasos mínimos en busca de una correcta comprensión del patrimonio y de una toma de decisión eficiente y, para ello, aplicamos el ciclo tutelar propuesto en el capítulo anterior.

### 5.1. Fase inicial

Este proceso se inicia con la identificación y caracterización de los problemas existentes en el bien patrimonial. Estos, en la mayoría de los casos, son reflejados por ejemplo en memorias descriptivas (Fig. 65). En un paso siguiente, se determinan los objetivos generales, los cuales serán las directrices para confeccionar las fases del ciclo y, en consecuencia, los estructuradores del modelo. Se debe considerar que no todos los edificios poseen la misma complejidad, con lo cual esta metodología necesita ser adaptada a las necesidades de cada bien.

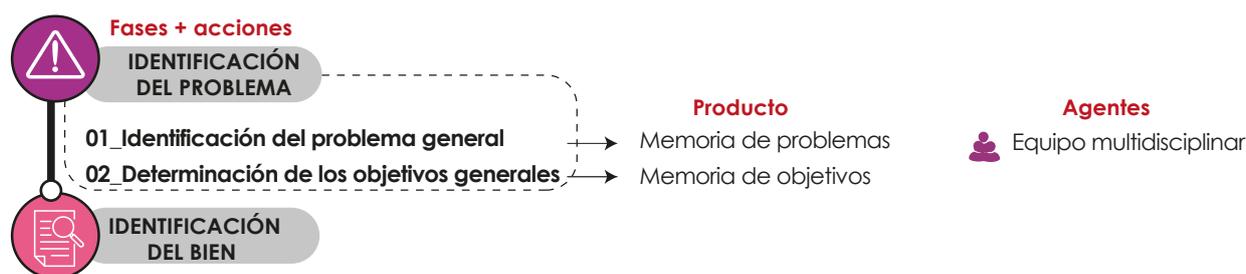


Figura 65. Determinación de la fase de identificación de problemas para la Iglesia de San Lorenzo.

Con el fin poner a prueba la metodología, se toma de referencia el trabajo realizado sobre la Iglesia de San Lorenzo por el equipo de profesores del ETSIE-UPV en el año 2017 en conjunto con los alumnos de último curso de grado y máster en estancia de estudios Erasmus, donde fueron detectados los siguientes problemas en la edificación:

- Humedades ascendentes
- Hundimientos de pavimentos
- Grietas en bóvedas

En relación con los problemas detectados consideramos los siguientes objetivos:

- Realizar un estudio de suelos
- Realizar un diagnóstico del comportamiento estructural
- Proponer una intervención en suelos y estructura
- Realizar un diagnóstico de las fachadas y cubierta
- Proponer intervención en fachadas y cubierta

En el paso siguiente se determinan las fases y acciones necesarias y, así, se diseña un modelo de información que pueda responder de forma eficiente a los problemas detectados. En primer lugar, se reconocen las fases y los agentes que intervendrán en el proceso, y se genera una plataforma sincronizada de comunicación. En seguida, se diseña el modelo HBIM, donde se centralizarán gran parte de las informaciones del bien patrimonial, exponiéndose, a continuación, algunas de las decisiones tomadas a la hora de aplicar el método de trabajo en el caso de estudio.

## 5.2. Decisiones previas para la implementación HBIM

**5.2.1. Elección del software BIM:** para este trabajo utilizamos Autodesk Revit 2020 por su compatibilidad con diversos formatos de archivos, siendo esta una de las ventajas principales para la generación del repositorio de información. Como complementos para solucionar algunas limitaciones del software se incorporan diversos plug-ins, como también la utilización de la aplicación Dynamo nativa de Revit.

**5.2.2. Formato de archivos utilizados:** para la generación del repositorio HBIM se utilizan archivos externos a la plataforma BIM, como imágenes (.png, .bmp, .tif y .jpg), textos (.txt y .doc), planillas (.xls y .xml), datos en pdf (.pdf), nubes de puntos (.rcp, .rcs) y geometrías 2D/3D (.dwg, .dxf, .dgn, .sat y .skp). También existen archivos propios de la plataforma de Revit (.rvt, .rfa, .adsk y .rte). Por último existen los archivos de colaboración IFC (.ifc .ifcXML .ifczip).

**5.2.3. Vinculación de los datos:** los diversos archivos se vinculan a través de la importación compatible a la plataforma BIM y entre ellos se consideran todos los nombrados anteriormente a excepción de los archivos de texto (.txt y .doc) y las planillas (.xls y .xml), los cuales son incorporados utilizando plug-ins externos o aplicaciones generadas en Dynamo.

**5.2.4. Sincronización de los archivos de información:** en este caso se utiliza un servicio de alojamiento de archivos (nube) sincronizado con los diferentes agentes intervinientes en el proyecto. Para esto, se utiliza la plataforma colaborativa de Microsoft Teams, que asegura a través de SharePoint y OneDrive la sincronización de la información en tiempo real. SharePoint es una herramienta de colaboración para organizaciones que necesitan varios individuos y equipos para trabajar en documentos y productos al mismo tiempo.

La elección de esta plataforma se basa en la versatilidad de la misma y a la vez por su compatibilidad en la gestión de diversos tipos de archivos. De esta forma centralizamos la información y aseguramos la colaboración en tiempo real de los diferentes actores. En este sentido, es importante marcar que estos archivos en la nube pueden estar vinculados en tiempo real con un archivo de Revit, de manera que al actualizar los datos de un archivo vinculado estos se actualizaran en el modelo de Revit.

**5.2.5. Registro de revisiones del modelo HBIM:** todas las revisiones son registradas en los archivos IFC y estos son sincronizados en la nube.

### 5.2.6. Conformación de los equipos y fases de trabajo

Utilizando los beneficios de las plataformas de trabajo colaborativo, optamos por elegir Microsoft Teams, ya que es una de las más utilizadas en la actualidad. En esta, se pueden administrar los participantes del proyecto como también gestionar su incorporación en los diversos grupos de trabajo con sus correspondientes permisos. De igual forma, es posible generar las fases y etapas del proyecto, obteniendo así por un lado, los grupos disciplinares, y por otro los grupos por fases. (Fig. 68-69)

Para este proyecto se determinan los siguientes actores: arquitectos, ingenieros, arqueólogos, historiadores, restauradores, especialistas en conservación y gestores culturales. Mientras que las fases son: a) identificación del problema, b) identificación del bien, c) diagnóstico, d) proyecto de intervención, e) intervención y f) gestión. (Fig. 67)



Figura 67. Ciclo de tutela para la Iglesia de San Lorenzo

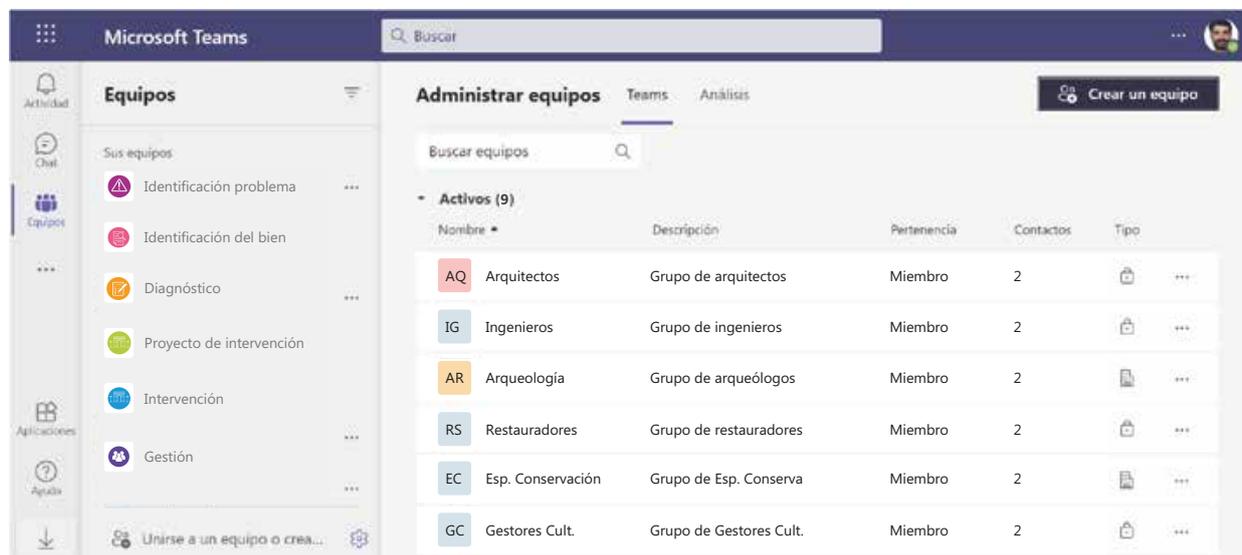


Figura 68. Elaboración de los grupos de trabajo en la plataforma Microsoft Teams, elaboración propia.

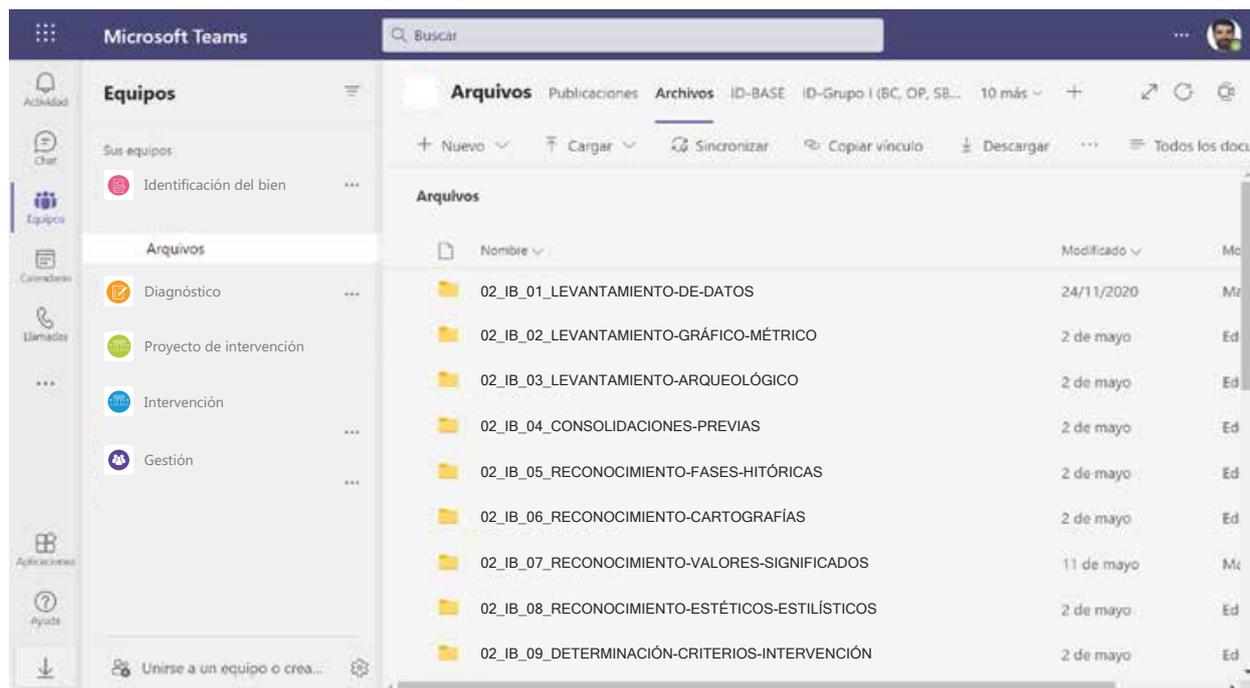


Figura 69. Elaboración del directorio de trabajo en la plataforma Microsoft Teams, elaboración propia.

De esta manera, aseguramos una correcta organización de la información y la gestión de los datos de forma eficiente a partir de los archivos compartidos y sincronizados con los grupos de trabajo de todas las disciplinas que intervienen en el proceso. El resultado hasta aquí es un conjunto de carpetas vacías en donde se volcará toda la información del bien patrimonial.

Paralelamente a este paso se inicia con la fase para la identificación del bien.

### 5.3. Fase de identificación del bien patrimonial

Una vez generada la plataforma de trabajo, detectados los problemas y objetivos del proyecto, se pasa a la fase de identificación del bien patrimonial. A continuación, enumeramos las acciones que deberían ser realizadas para el reconocimiento de la Iglesia de San Lorenzo:

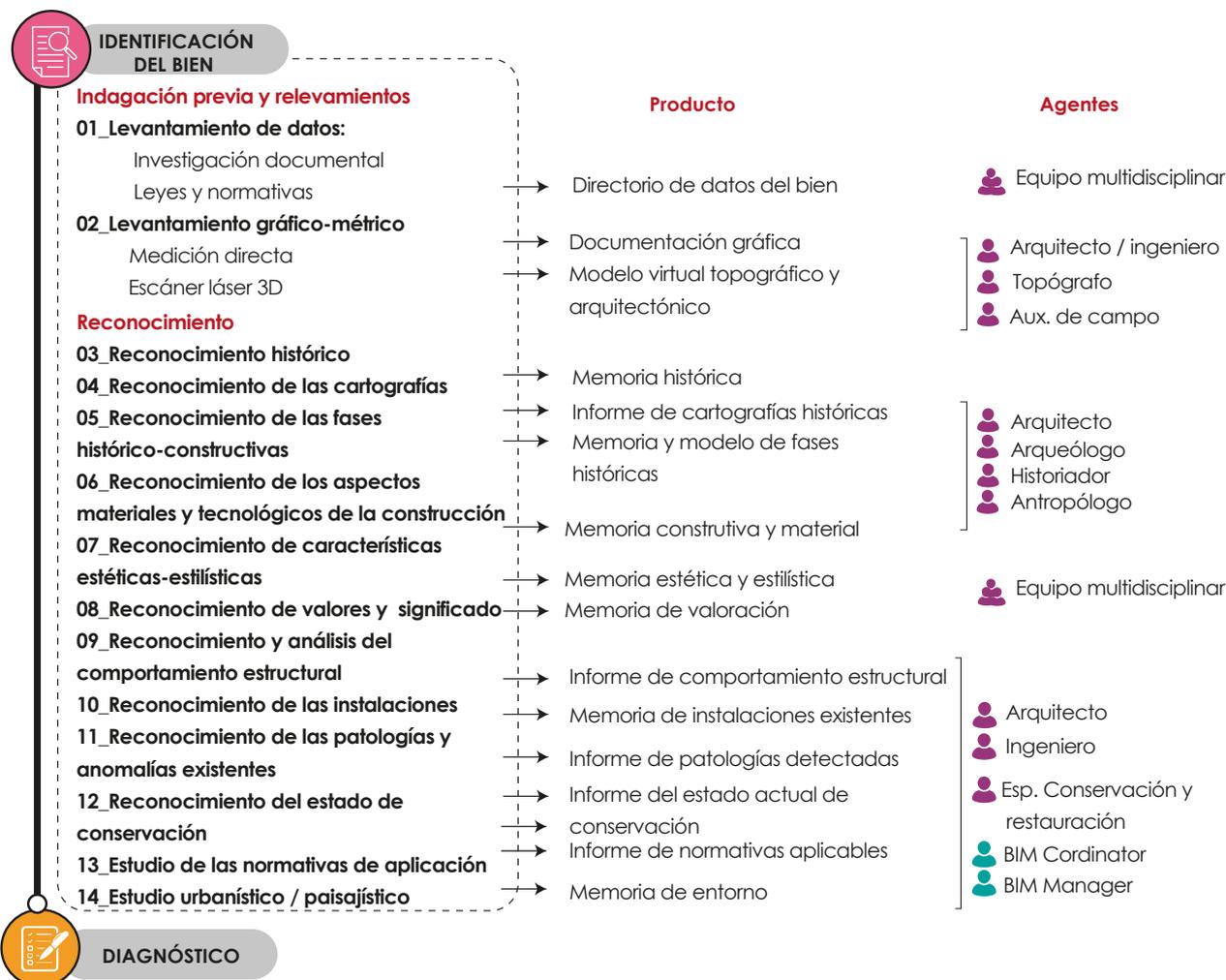


Figura 70. Determinación de la fase de identificación para la Iglesia de San Lorenzo.

Las primeras acciones de esta fase están relacionadas con la recopilación de la información sobre la Iglesia de San Lorenzo, y en este caso se realizó un levantamiento de datos a través de la investigación documental, el registro de fuentes, el estudio de las normativas urbanísticas y leyes de protección. Posteriormente se efectuó un levantamiento gráfico-métrico mediante las técnicas de medición directa y la toma de datos 3D por escaneo láser (fig. 71). Sobre este bien no se han realizado campañas arqueológicas, si estudios estátigraficos y murarios para detectar los periodos constructivos, las técnicas constructivas y las manifestaciones patológicas. Como resultado de la culminación de estos procesos se obtiene la incorporación de diversas informaciones al repositorio general, como la generación de documentación 2D y la adquisición de datos 3D, los cuales son el punto de partida para la confección del modelo 3D-HBIM.

En esta fase, dentro de la acción de reconocimiento se inicia a generar el modelo 3D-HBIM de la edificación, tomando de base la información recolectada en la etapa de indagación previa y relevamientos (fig. 72).



Figura 71. Nube de puntos y documentación 2D de la Iglesia de San Lorenzo generados a través de la toma de datos 3D por escaneo laser elaborado por ETSIE-UPV 2017, equipo de profesores: J. García Valdecabres, M. C. López González, C. Ochando Perales y R. Marín Sánchez. Alumnos: I. Lo Vecchio, C. Morello y V. Strippoli.

El desarrollo de la etapa de identificación es generar una serie de documentos materializados en el medio digital como archivos. Los mismos son sincronizados a través de la plataforma colaborativa y enlazados en el modelo central HBIM. (fig. 72)

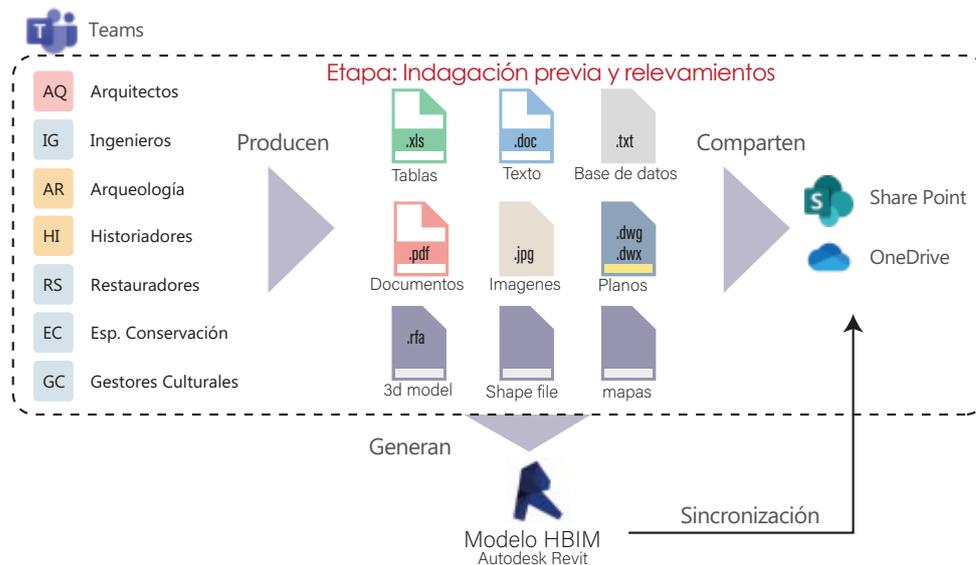
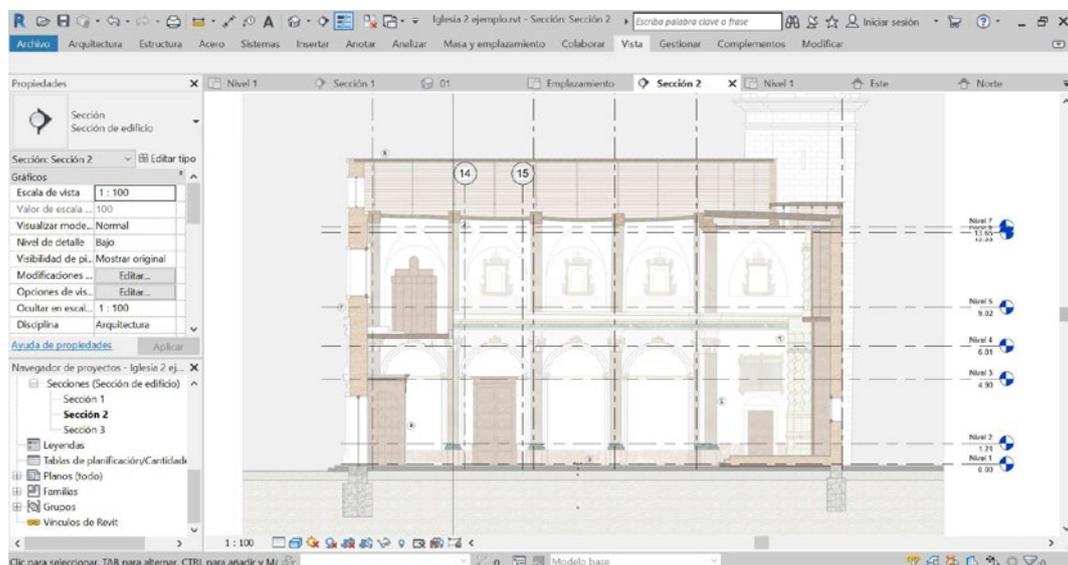
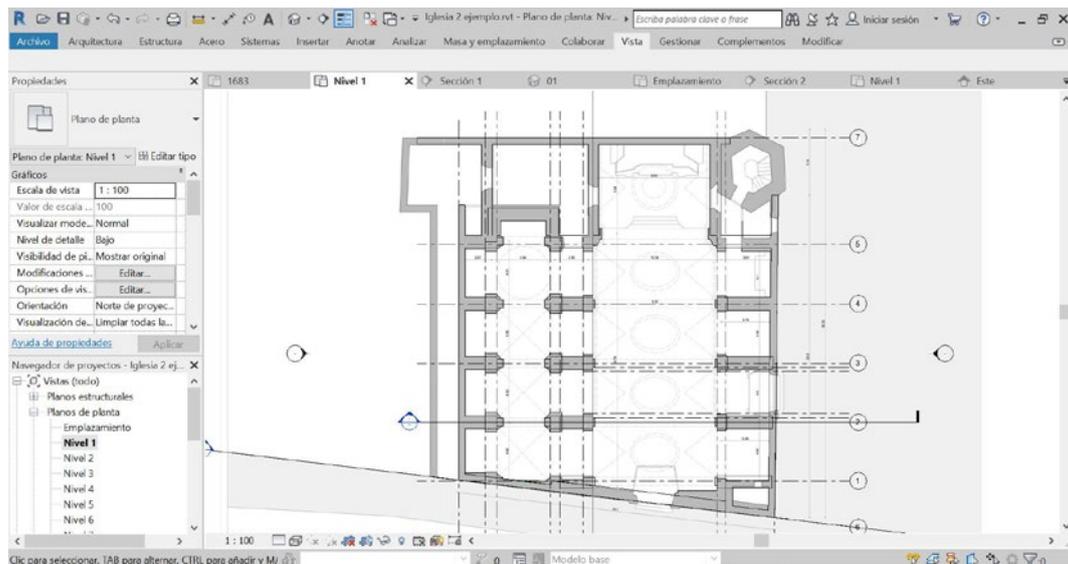


Figura 72. Generación del modelo HBIM a través de la información recolectada de la indagación previa y relevamientos para el caso de estudio, elaboración propia.

### 5.3.1. Generación del modelo HBIM de la Iglesia de San Lorenzo

Como antes mencionamos, se utiliza el software Autodesk Revit porque este tiene la ventaja de enlazar diferentes tipos de archivos provenientes de la toma de datos al modelo 3D. Antes de iniciar a trabajar en esta plataforma es importante configurar la plantilla de trabajo o “template”, siendo la primera acción determinar las unidades de trabajo, por ejemplo, en este proyecto siempre se utilizó la unidad de metros con un redondeo de 3 dígitos de decimales. También, se incorpora la información general referente al proyecto como la ubicación, emplazamiento, autores, fechas, etc.

El paso siguiente es importar los documentos que serán utilizados de referencia para iniciar a determinar los niveles y ejes del modelo geométrico. Estos documentos puede ser imágenes o geometría 2D y 3D como archivos CAD o nubes de puntos. En nuestro caso, utilizamos una combinación de ambos. (Fig. 73-74)



Figuras 73-74. Generación del modelo 3D-HBIM a través de la información de indagación previa y relevamientos para el caso de estudio.

Una vez determinada la plantilla de trabajo, procedemos a generar la geometría de los elementos constructivos de la iglesia. Como describimos anteriormente, es preciso definir el nivel de desarrollo del modelo 3D-HBIM, o sea, el grado de exactitud de la geometría, y entonces, antes de modelar cualquier elemento, es importante determinar las estrategias del modelado, lo que conlleva la definición del nivel de desarrollo del modelo (LOD) que está determinado por una serie de parámetros. Para este caso confeccionamos la siguiente matriz en relación a los diferentes elementos del edificio.

Estrategias del modelado	Nivel de simplificación formal	Nivel de detalle y precisión métrica	Nivel de división	Nivel de conocimiento del modelo
<b>LOD</b>	<b>GoG (1 a 10)</b>	<b>LoD (0 a 3.3)</b>		<b>LOK (100 a 500)</b>
<b>Muros - estructuras</b>	7	3.3	Elementos constructivos y Fases históricas	500
<b>Solados</b>	5	3.3	Elementos constructivos y Fases históricas	500
<b>Cubiertas</b>	7	3.2	Elementos constructivos y Fases históricas	500
<b>Elementos singulares</b>	8	3.2	Elementos constructivos y Fases históricas	400

Tabla 1. Determinación del nivel de detalle del modelo HBIM, elaboración propia.

Definidas las estrategias del modelo, se procedió al modelado geométrico de la Iglesia de San Lorenzo en Revit. Para ello, se inició por el sistema estructural conformado por la mampostería portante, los arcos y bóvedas y paralelamente a este proceso se configuraron las dimensiones y materiales que conforman cada envolvente. Es decir, fueron cargados los datos provenientes del relevamiento de campo como también de las referencias históricas en los elementos. En este paso también, sí se hubiesen realizado ensayos de materiales en el edificio, podría haberse cargado la información física de los mismos. Generanse así, entonces, las familias de elementos constructivos que componen el edificio, que pueden ser objetos individuales o grupos. Para este caso, fue necesario realizar el modelado de la torre campanario, del balcón mirador, de las dos portadas, de los frisos, de las ventanas obaladas de las fachadas, entre otros.

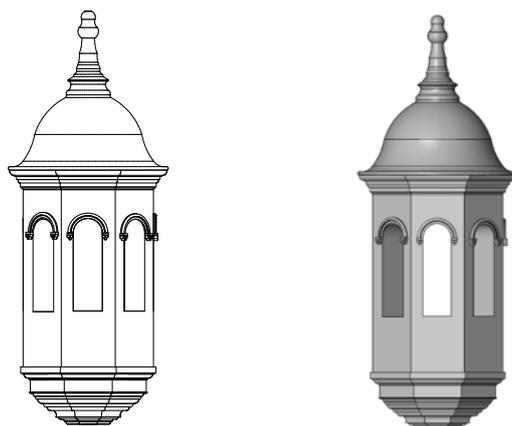


Figura 75. Familia constructiva: “balcón mirador”, elaboración propia.

Para generar la familia del balcón mirador se tomó como base la documentación 2D generada a partir de la nube de puntos. Dentro del software Autodesk Revit se crea la plantilla de familia para realizar el modelado de la geometría del elemento constructivo del edificio. En este caso se trabaja con un nivel de simplificación formal 7, esto quiere decir que algunas de las formas son simplificadas con respecto a las reales.

Cuando creamos las diferentes familias, es necesario analizar la generación de las formas geométricas para determinar que método es el más eficiente en términos de tiempo y objetivos para modelar el elemento, en este caso se optó por generar la forma a partir de la revolución de perfiles para los muros, molduras y el cupulín, mientras que para las molduras de los arcos de las ventanas se realizó el barrido de perfiles.

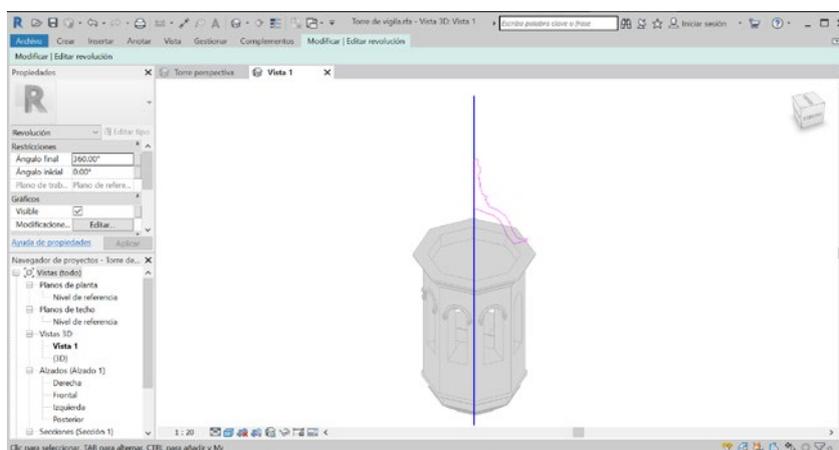


Figura 76. Generación de familias constructivas “balcón mirador”, elaboración propia.

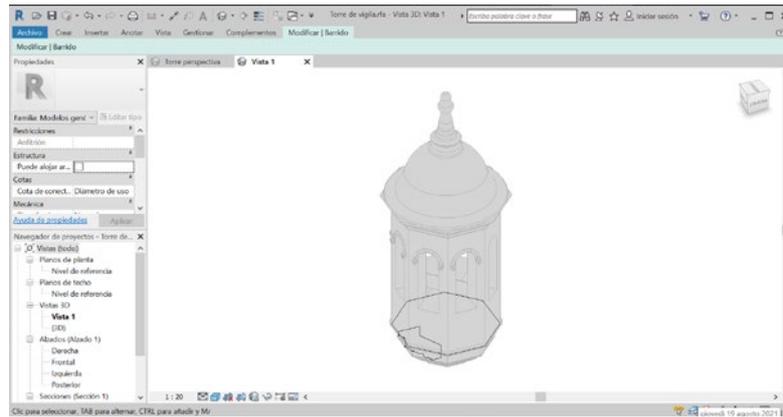


Figura 77. Generación de familias constructivas “balcón mirador”, generación de perfiles, elaboración propia.

El volumen sólido generado es vaciado a través de la resta de extrusiones de formas vacías.

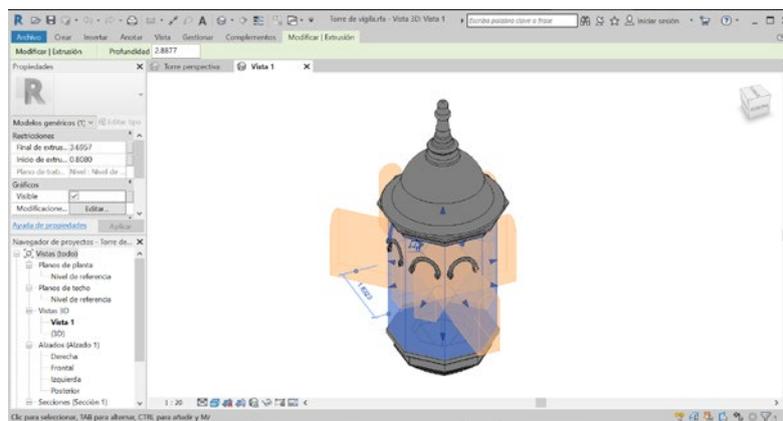


Figura 78. Generación de familias constructivas “balcón mirador”, vaciado de volúmenes sólidos, elaboración propia.

De estas acciones obtenemos un modelo geométrico con la información dimensional y material del edificio, de forma que el paso siguiente consiste en la asignación de parámetros a los elementos constructivos, es decir, relacionar la información geométrica con la información que puede estar representada por imágenes, planos, tablas, textos, etc.

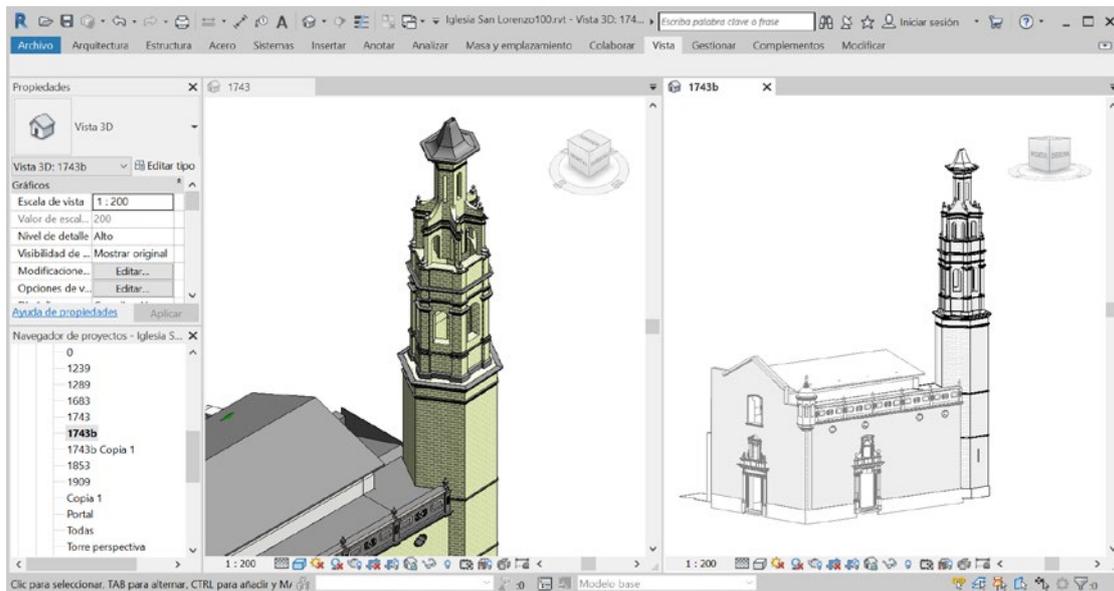


Figura 79. Modelo geométrico de la Iglesia San Lorenzo de Valencia en Autodesk® Revit, elaboración propia.

### 5.3.2. Asignación de parámetros a los elementos constructivos

En esta etapa se asignan los parámetros a las geometrías, los cuales son generados en relación con los objetivos del modelo. En nuestro caso asignamos quince parámetros con el objetivo de demostrar sus diferentes utilidades. Además, es útil destacar que los objetos constructivos están vinculados con imágenes que hacen referencia al elemento real y a la textura del material.

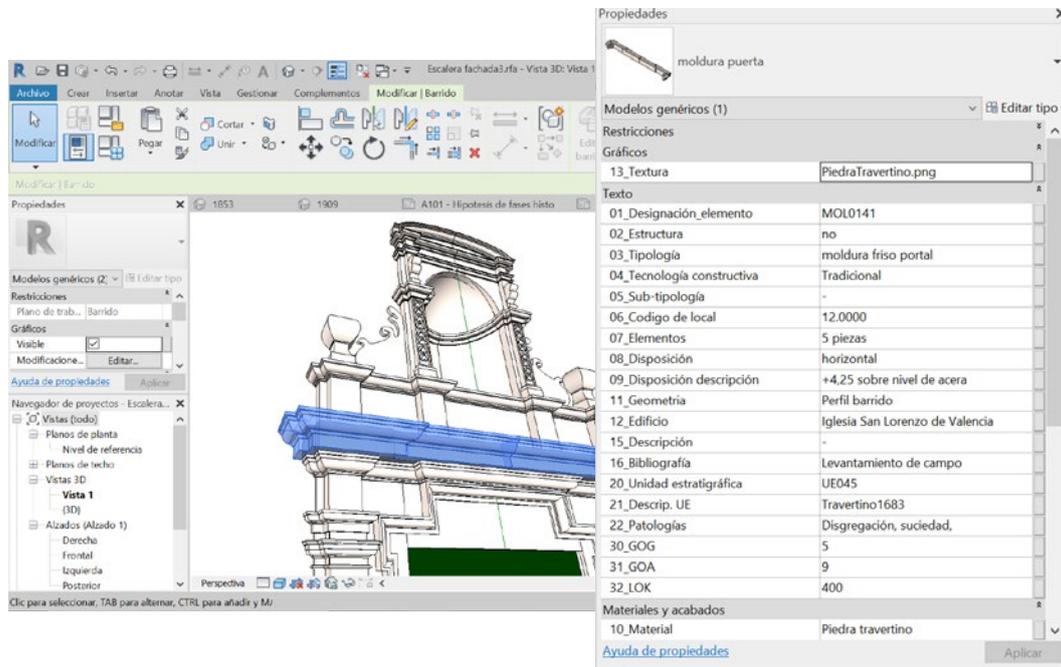


Figura 80. Modelo 3D de cornisa de la portada de la Iglesia San Lorenzo y su tabla de parámetros, elaboración propia.

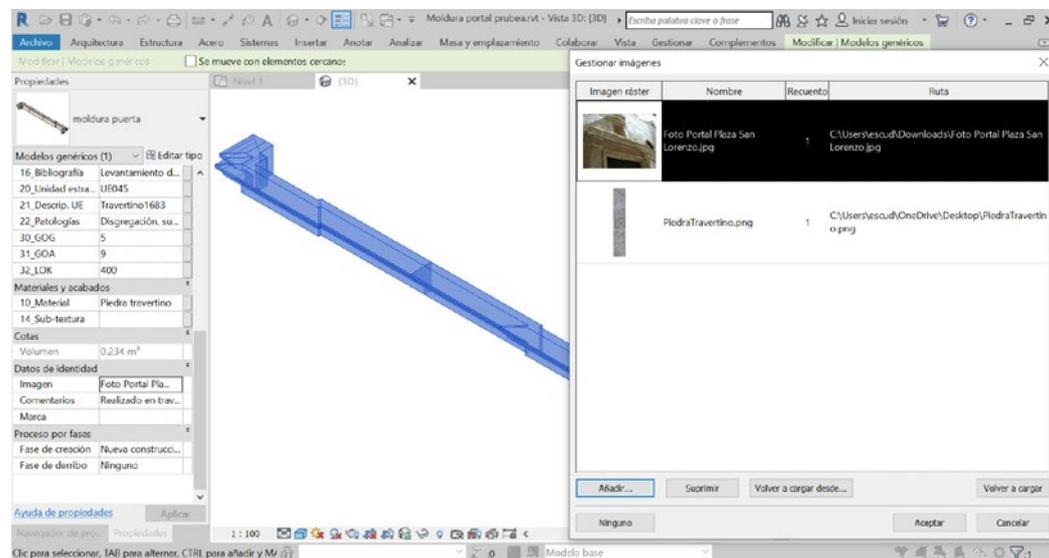


Figura 81. Modelo 3D de cornisa de la portada de la Iglesia San Lorenzo y su vinculación con imágenes, elaboración propia.

### 5.3.3. Reconocimiento de las cartografías históricas existentes

Con el fin de analizar las modificaciones del edificio en el tiempo, se incorpora al modelo HBIM las informaciones provenientes de las cartografías históricas, siendo estas importantes en el análisis y reconocimiento y para la generación del modelo de hipótesis de fases histórico-constructivas. Las cartografías son incluidas y referenciadas con los elementos 3D a través de parámetros, y con esto se busca una centralización de los datos.

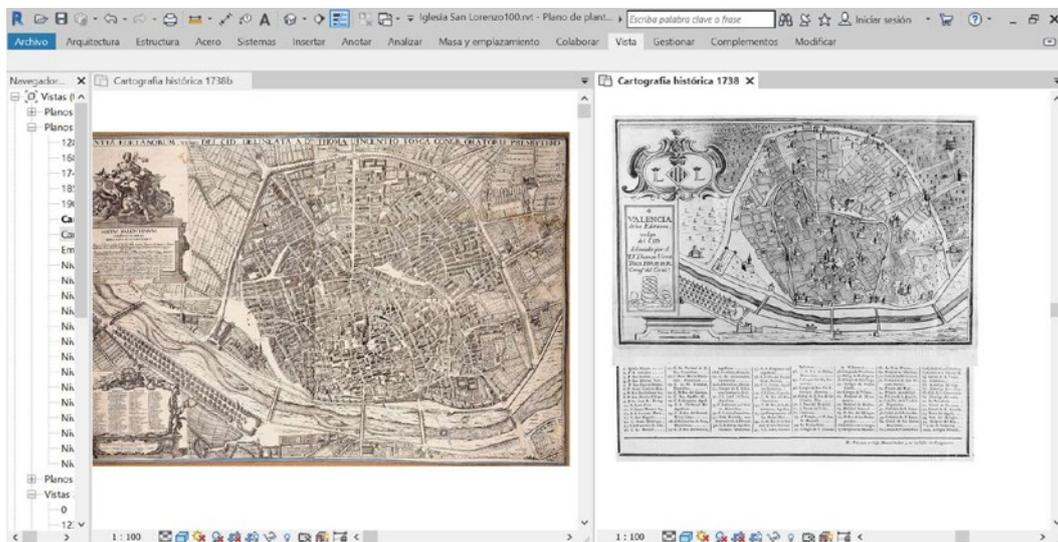


Figura 82. Incorporación de las cartografías históricas al modelo centralizado HBIM en Autodesk® Revit.

### 5.3.4. Enlazado de los documentos generados en procesadores de texto y planillas de cálculo

Dentro de la fase de reconocimiento se generan diversas memorias descriptivas, como son las de tipo histórico, de características estéticas, valorativas, criterios de intervención, etc.. Siendo producidas por los diferentes agentes, estas son incorporadas al modelo centralizado para ello se utiliza un plug-in que enlaza y sincroniza los documentos (.doc y .xls). Esto nos posibilita centralizar la información y cruzarla con la información geométrica del edificio a través de parámetros; y por otro lado, la misma puede ser actualizada por el agente que generó el documento desde el archivo de origen.

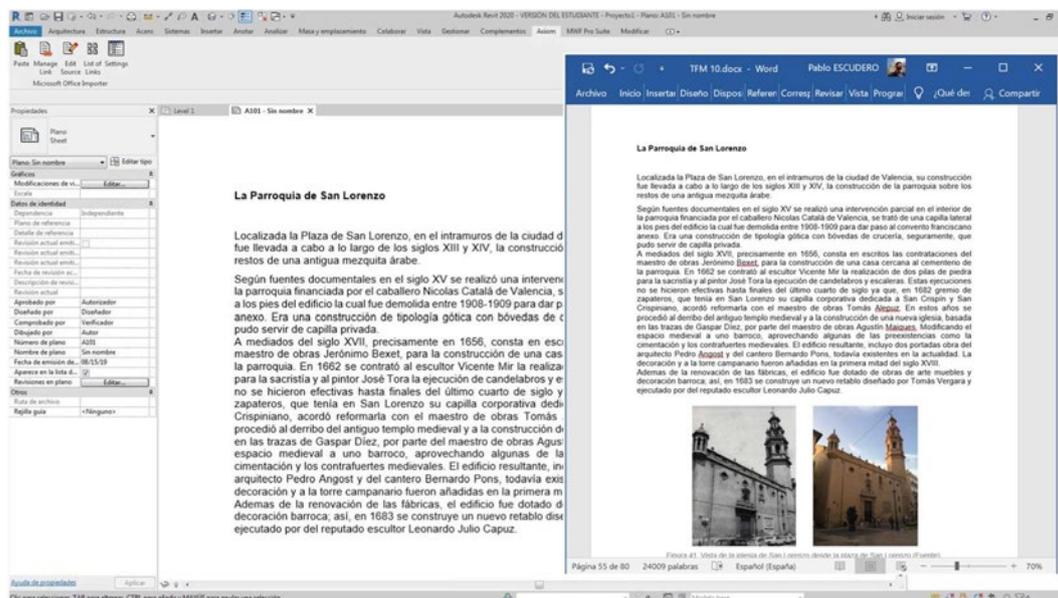


Figura 83. Cornisa de la portada de la Iglesia San Lorenzo de Valencia y su tabla de parámetros, elaboración propia.

### 5.3.5. Reconocimiento de las fases históricas constructivas

Partiendo del levantamiento de datos y de la comprensión de la información recolectada principalmente compuesta por cartografías históricas, planos y documentos, se confecciona la hipótesis de las fases más representativas antecesoras al estado actual de la edificación. Esto es posible a través de las herramientas digitales, por ejemplo, con la determinación de fases constructivas de Revit, y de este modo los elementos son dados y ordenados cronológicamente. La herramienta es adaptada para poder considerar las fases histórico-constructivas de la edificación, permitiendo así recrear virtualmente los diferentes estados por los que ha pasado el edificio y de esta forma tener una fácil lectura para comprender las causas de los problemas actuales. Para este caso se han distinguido un total de diez hitos históricos basados en el análisis del edificio y de los documentos (figura 84).

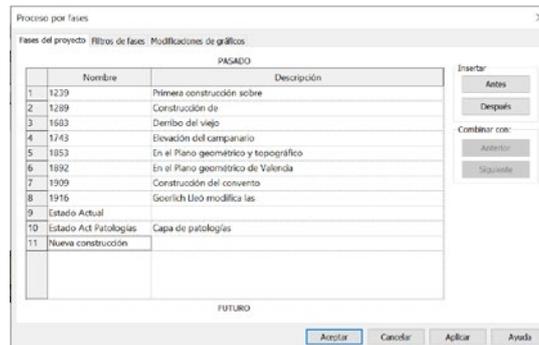


Figura 84. Generación de las fases históricas de la Iglesia San Lorenzo de Valencia.

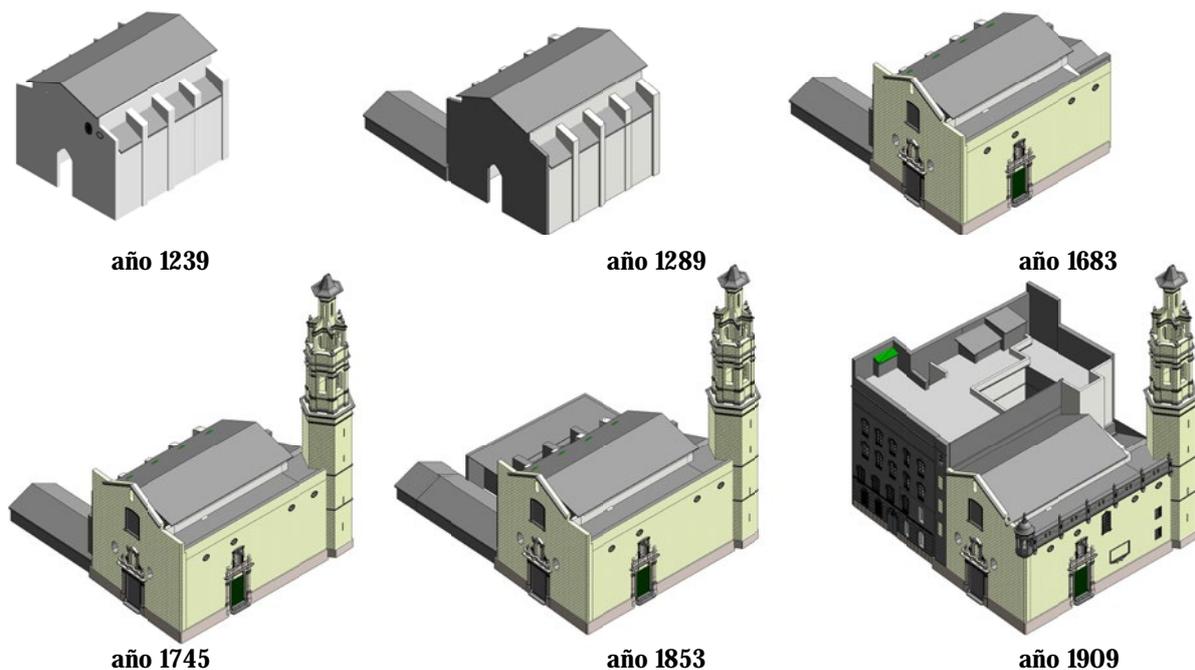


Figura 85. Hipótesis de fases históricas de la Iglesia San Lorenzo de Valencia, elaboración propia.

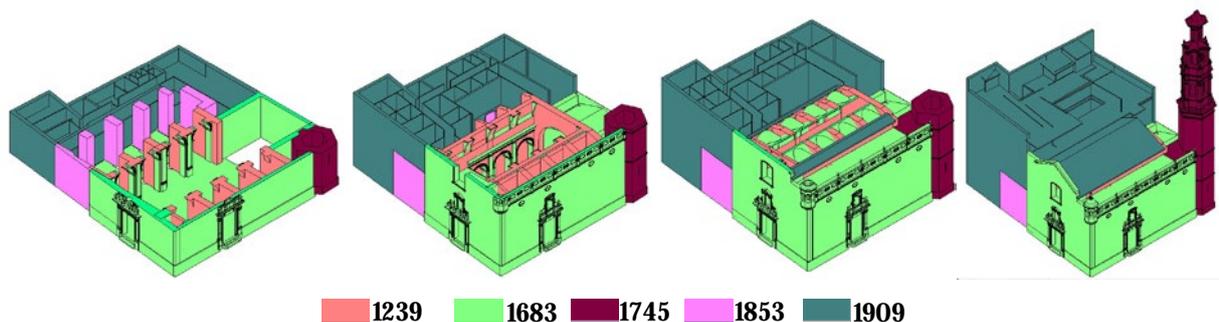


Figura 82. Etapas de construcción, elaboración propia.

### 5.3.6. Generación de fichas de reconocimiento de los aspectos materiales y tecnológicos

A partir de las informaciones obtenidas del levantamiento sobre el reconocimiento material y el de las técnicas constructivas empleadas para la construcción del edificio, se generan las fichas de reconocimiento utilizando la información existente en el modelo, que también incorporan los parámetros, planos 2D e imágenes. En Autodesk® Revit estas acciones se pueden realizar de forma semi automatizada, a partir de la configuración de plantillas de trabajo programadas que toman los distintos datos de los objetos parametrizados como mostramos a continuación.



Figura 86. Ficha de reconocimiento de los elementos constructivos de la Iglesia San Lorenzo elaborada en Revit a partir de la información cargada en el modelo.

Al igual que en el caso anterior, se pueden realizar dentro del programa las fichas pertenecientes al reconocimiento de las técnicas constructivas (fig. 83).

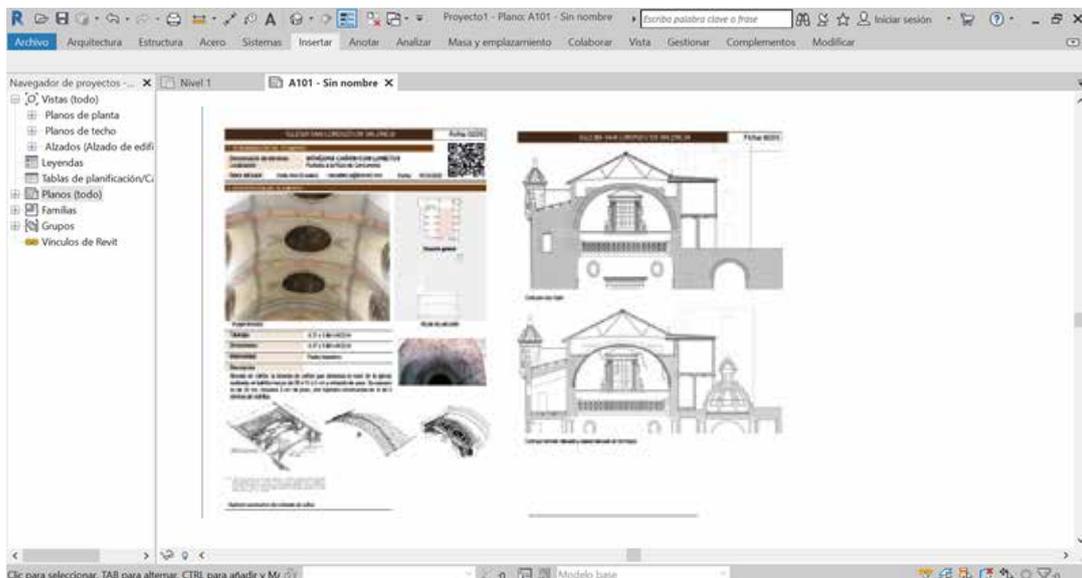


Figura 87. Ficha de reconocimiento de las técnicas constructivas de la Iglesia de San Lorenzo elaborada en Revit a partir de la información cargada en el modelo.

La extracción de las fichas dentro del programa Autodesk® Revit puede realizarse a partir de la configuración de los entregables, esto es posible con la generación de plantillas específicas que responden al objeto de la ficha. Los parámetros del modelo son enlazados automáticamente en los campos de referencia a través de la asignación de parámetros. Por fin las fichas son generadas en formato .pdf.

### 5.3.7. Reconocimiento del comportamiento estructural

Como resultado del riguroso proceso 3D-HBIM, se incorporan los datos correspondientes a las propiedades físicas de los materiales, esto posibilita que el modelo pueda ser exportado para la realización de diferentes simulaciones, como por ejemplo, el comportamiento actual de la estructura mediante la aplicación de diferentes hipotesis de carga. Para exportar el modelo virtual a programas de análisis estructural, es necesario guardarlo y configurarlo en formato IFC, ya que esto facilita la comunicación del modelo con los demás programas. En este sentido, el análisis estructural puede ser realizado, por ejemplo, con diferentes softwares como SAP2000, Autodesk Robot Structural, Autodesk Inventor, etc. Pero, teniendo en cuenta la complejidad de las formas que se manejan en los edificios históricos, en algunos casos puede ser recomendable la utilización de programas específicos.

Cuando nos enfrentamos a estructuras históricas, tenemos que abordarlas de manera diferente a las estructuras actuales, ya que los antiguos constructores trabajaban por dimensionar en forma con la diferencia que en la actualidad se dimensiona en resistencia. Así, un punto importante a la hora de analizar el comportamiento estructural es la influencia de la historia del edificio. En la actualidad existen dos métodos para analizar estas estructuras: por un lado, los métodos basados en equilibrio de los elementos estructurales, denominado estática gráfica (por equilibrio de fuerzas) y el análisis límite que es aplicado a las fábricas; de otro lado, el método de elementos finitos que puede ser realizado por medio del análisis lineal y no lineal. En materiales friccionales como la piedra y el ladrillo es necesario utilizar el análisis no lineal, para tener en cuenta la alteración de los materiales. (A. Alonso Durá, 2020)

En el caso de la Iglesia de San Lorenzo teniendo en cuenta los problemas de asentamientos detectados en la fase de diagnóstico, es necesario caracterizar el perfil geotécnico del suelo a partir de diversos ensayos para incorporar los datos referentes a anomalías, tipo y resistencia. Además es importante la utilización de los datos del modelo correspondientes a al volumen del edificio y peso específico de los materiales para calcular el peso del edificio. La incorporación de estos datos en el modelo 3D-HBIM posibilita calcular las tensiones de trabajo del terreno y realizar una diagnosis más precisa a cerca de las áreas vulnerables. (Ahumed y Mabrouk, 2019)

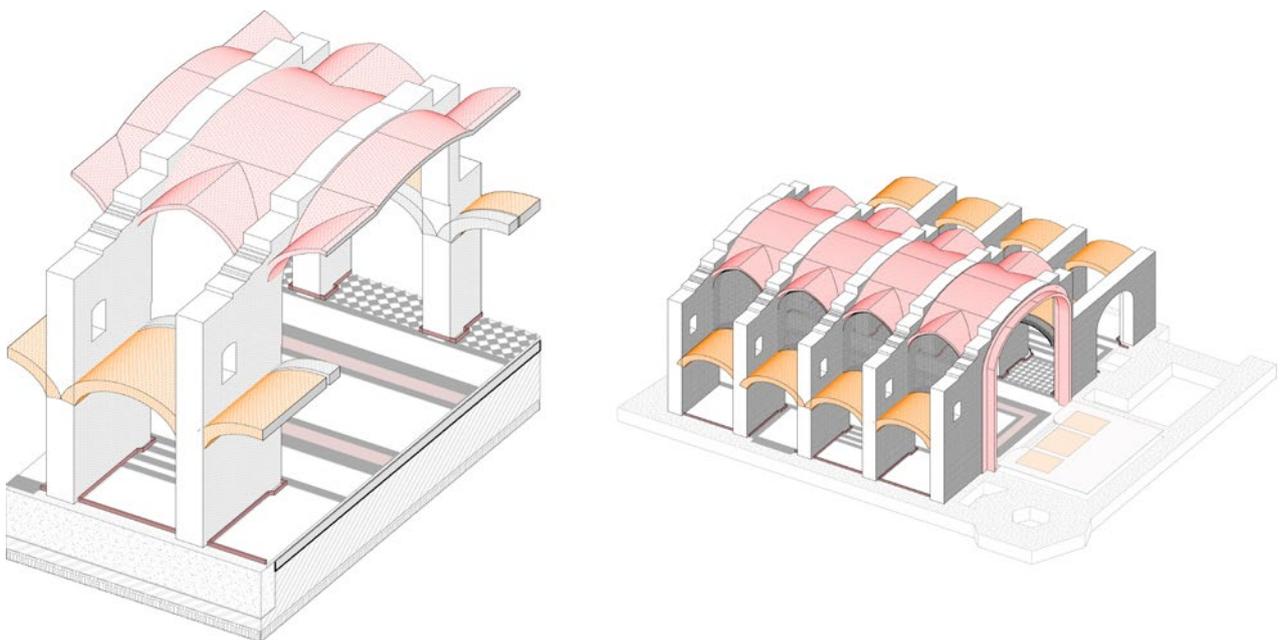


Figura 88. Sistema estructural de la Iglesia de San Lorenzo de Valencia, elaboración propia.

Además es importante verificar la estabilidad de los arcos, y para ello se puede utilizar el método no lineal. Los datos de cálculo son extraídos de los ensayos de campo, provenientes de la resistencia de los materiales, densidad y dimensiones. Para este caso en particular, que está conformado por fábricas de ladrillos, arcos y bóvedas, podríamos optar por utilizar los programas Statical y Angle desarrollados por Adolfo Alonso Durá. Statical permite desarrollar el cálculo de los arcos y bóvedas de la nave central, mientras que Angle determina las solicitaciones de las fábricas (fig. 90/91). Los datos generados son enlazados al modelo 3D-HBIM central por medio de los archivos .dwg y .IFC.

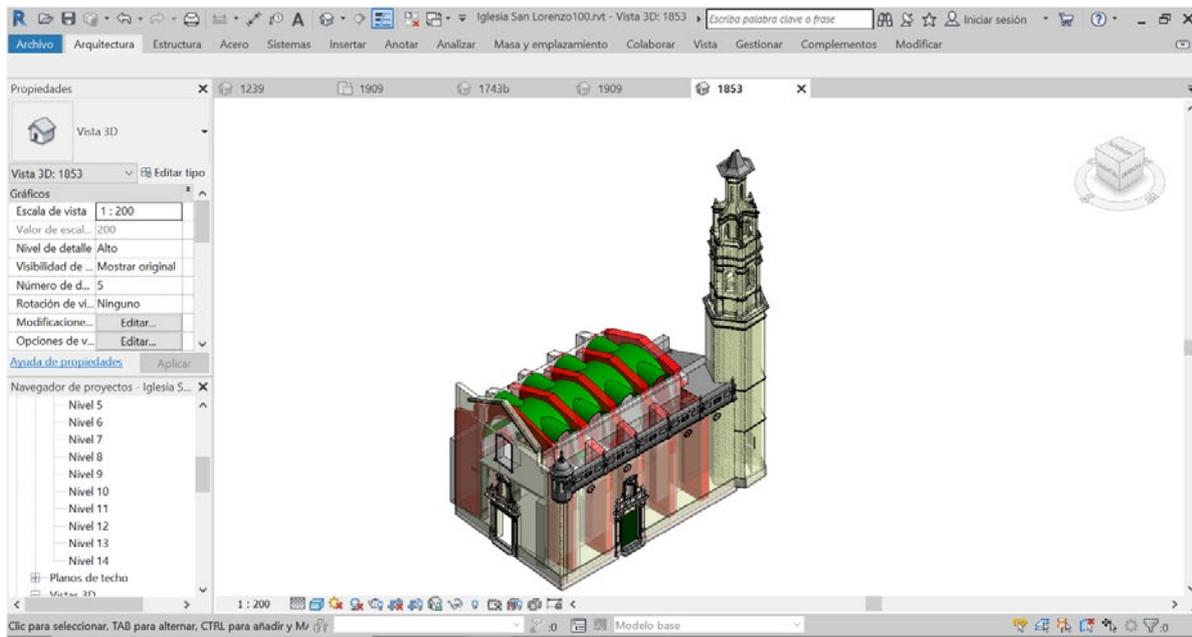


Figura 89. Estructura principal de la Iglesia de San Lorenzo de Valencia, elaboración propia.

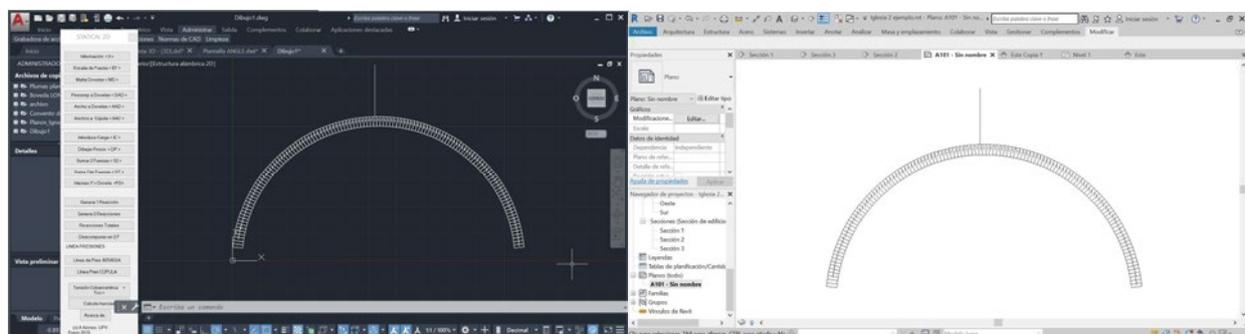


Figura 90. Análisis del arco fajón en Autodesk® con Statical 2D y vinculado al modelo central en Revit.

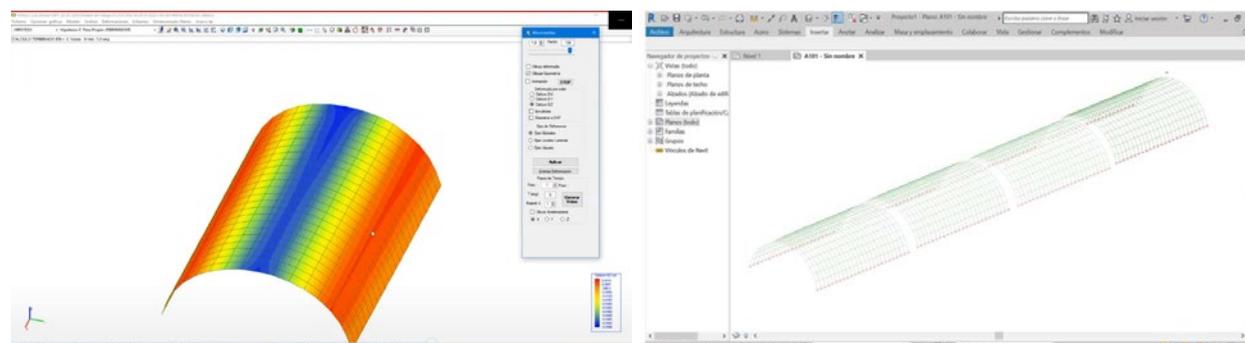


Figura 91. Análisis de una bóveda con ANGLE, vinculado al modelo central en Revit.

A partir del modelo 3D es posible realizar un mallado del edificio para calcular por el método no lineal las distintas hipótesis de carga a través de los datos cargados en el modelo: condiciones geométricas y de contorno, propiedades de materiales, datos de malla, etc. (fig. 92). El procesado del modelo por softwares complementarios posibilita resultados numérico-gráficos de deformaciones, asentamientos y análisis de estabilidad entre otros. (Ahumed y Mabrouk, 2019)

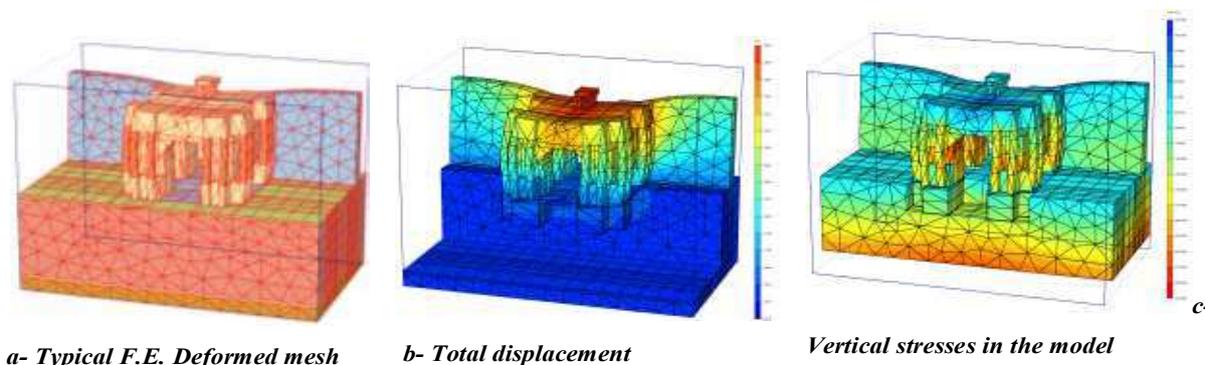


Figura 92. Modelo de malla deformada. (Ahmeda y Mabrouk, 2019)

### 5.3.8. Reconocimiento de las patologías existentes

Normalmente, para realizar un reconocimiento de las patologías en las edificaciones, realizamos documentación 2D de alzados, cortes y vistas que poseen manchas con las superficies afectadas. Basándonos en las experiencias de R. Angulo Fornos (2019), una alternativa superadora a partir de la metodología HBIM es la de incorporar información acerca de las patologías de los materiales a puntos ubicados en el espacio, o sea, como si se tratase de una copia de la nube de puntos del edificio, donde los puntos contienen los datos de las anomalías. De esta forma, podemos obtener de forma exacta y cuantitativa la proporción de superficie afectada en las tres dimensiones, como también graficar automáticamente las áreas afectadas.

En el caso de la Iglesia de San Lorenzo experimentamos con el portal, realizando un reconocimiento material, una división de las piezas pétreas y por último el mapeo de las patologías a partir de puntos (fig. 93).

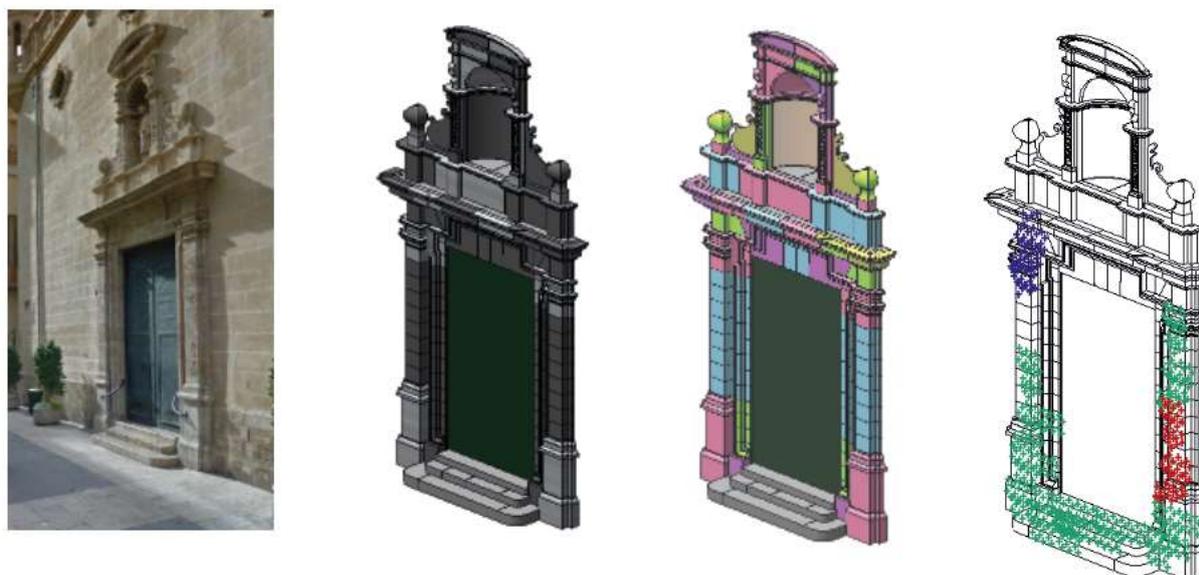


Figura 93. Portada lateral de la Iglesia de San Lorenzo, elaboración propia.

### 5.3.9. Estudio de las normativas urbanísticas y de protección

La plataforma de Revit nos permite enlazar las informaciones referentes a normativas, como antes describimos, por medio de archivos .pdf, .jpg o .doc, y también podemos realizar diferentes llamadas a la información a través de los parámetros. En este caso incorporamos las normativas relativas al PEP Ciutat Vella, como también la información relativa a la protección del patrimonio. Además, podríamos incorporar restricciones paramétricas, y de esta forma el programa detecta cuando estaríamos incumpliendo alguna condición de las normativas de aplicación. Por ejemplo, si quisiéramos considerar realizar un tipo de intervención que precisa de autorización especial, podría generarse un alerta para informar esa condición.

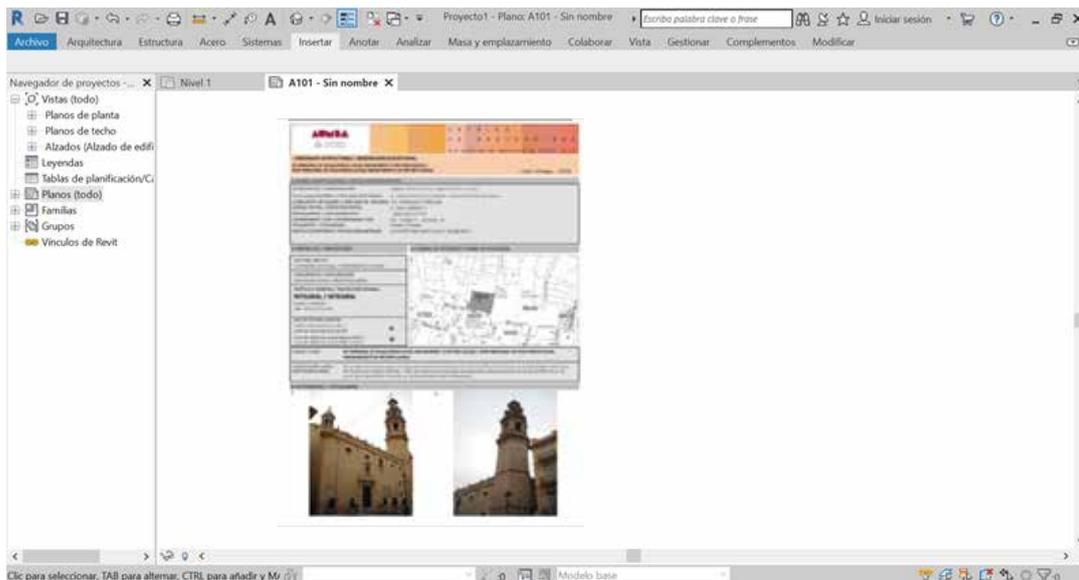


Figura 94. Ficha de la Iglesia de San Lorenzo, PEP Ciutat Vella enlazada en Autodesk® Revit, elaboración propia.

### 5.3.10 Generación de la base de datos de la Iglesia

El desarrollo del 3D-HBIM de la Iglesia de San Lorenzo permite conciliar el modelado geométrico tridimensional de un bien de valor patrimonial con una estructura de información vinculada al mismo. De este proceso se genera una base de datos que centraliza todo tipo de datos sobre los componentes del edificio, y la información es la generada a través de la carga de los diferentes parámetros. Para el caso de estudio estos son del tipo material, patológico, aplicados a la intervención y a la gestión del edificio a través del mantenimiento. La información puede ser exportada para su visualización en diferentes programas como, por ejemplo, Microsoft Excel. (Fig. 90)

Figura 95. Base de datos de los componentes de la Iglesia de San Lorenzo.

La consulta de los datos generados en HBIM, además de ser expuesta en las tablas de atributos de cada elemento, puede ser realizada por medio de diferentes etiquetas, siendo que las mismas pueden formar parte de la documentación entregable de las etapas del proyecto. (Fig. 94-95)

Muro fachada calle Franciscanos	<b>Etiqueta etapa de reconocimiento</b>
<b>Elemento:</b> <b>Material:</b> <b>Superficie:</b>	
Patología: Revoque disgregado	<b>Etiqueta etapa de diagnóstico</b>
<b>Patología</b> <b>Nivel de daño:</b> <b>Sup. afectada:</b>	
Intervención propuesta	<b>Etiqueta etapa de proyecto de intervención</b>
<b>Intervención:</b> <b>Material:</b> <b>Superficie:</b> <b>Costo:</b>	
Acciones de mantenimiento	<b>Etiqueta etapa de gestión: mantenimiento</b>
<b>Último mantenimiento:</b> <b>Fecha UM:</b> <b>Próximo mantenimiento:</b> <b>Fecha PM:</b> <b>Urgencia:</b>	

Figura 96. Etiquetas de consulta de la información del modelo en las diferentes etapas, elaboración propia.

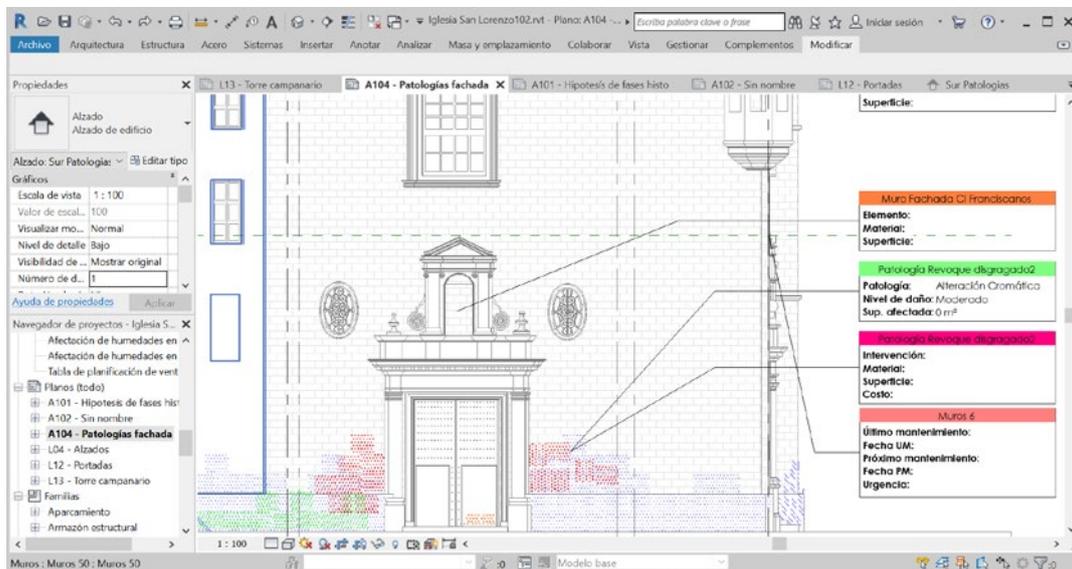


Figura 97. Etiquetas de consulta de la información en Revit, elaboración propia.

Considerando adaptar los parámetros a las diferentes fases del ciclo tutelar, podemos afirmar que las etiquetas pueden ser aplicadas para cualquiera de las fases, por ejemplo, con una serie de parámetros vinculados a determinados objetos geométricos que describan las intervenciones, las acciones de mantenimiento programado o cualquier tipo de información relacionada con la preservación del bien.

## 5.4 Fase de diagnóstico del bien patrimonial

En este sentido, aprovechando las informaciones generadas anteriormente en HBIM y con la ayuda de la programación de diferentes cálculos para computar las superficies y materiales afectados por patologías, podemos determinar una cuantía de las intervenciones necesarias para el tratamiento de la edificación. El informe de diagnóstico es una memoria generada por un equipo multidisciplinar compuesta por diferentes fichas para guiar las futuras intervenciones.

Las aplicaciones detalladas a partir de la fase de diagnóstico, no han sido llevadas a cabo por exceder las dimensiones del trabajo final de máster. No obstante, es importante nombrarlas para realizar un buen sistema de organización de la información del modelo central.

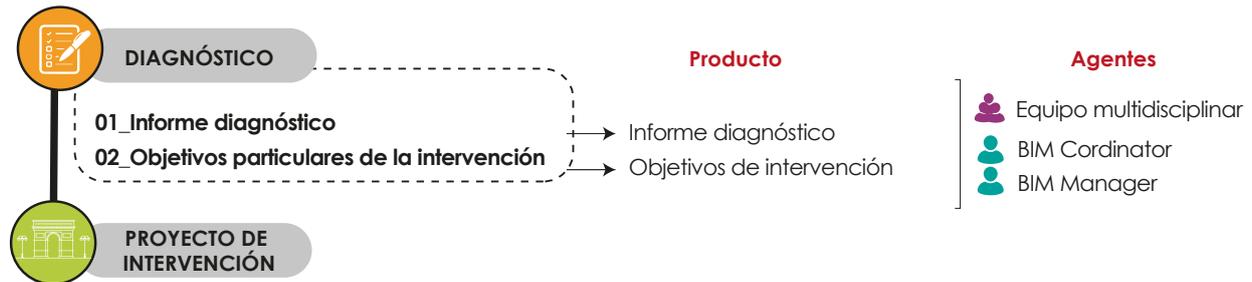


Figura 98. Determinación de las acciones dentro de la fase de diagnóstico de la Iglesia de San Lorenzo, elaboración propia.

## 5.5. Fase de generación del proyecto de intervención

El proyecto de intervención es desarrollado en HBIM de la misma forma que para obra nueva con la confección de las propuestas, la documentación técnica de detalle, la estimación de costes y tiempos, con la diferencia de que se debe incorporar las informaciones respectivas de la restauración y conservación. Para el caso de estudio se podría realizar una serie de fichas de intervención donde se detallen todas las actuaciones necesarias, y las mismas podrían ser generadas con la información que ya contiene el modelo central.



Figura 99. Determinación de las acciones dentro de la fase de proyecto de intervención para la Iglesia de San Lorenzo, elaboración propia.

## 5.6. Fase de intervención

La fase de intervención precisa de la realización de fichas de seguimiento y supervisión de las tareas, y las mismas pueden ser gestionadas con BIM por medio de registros.

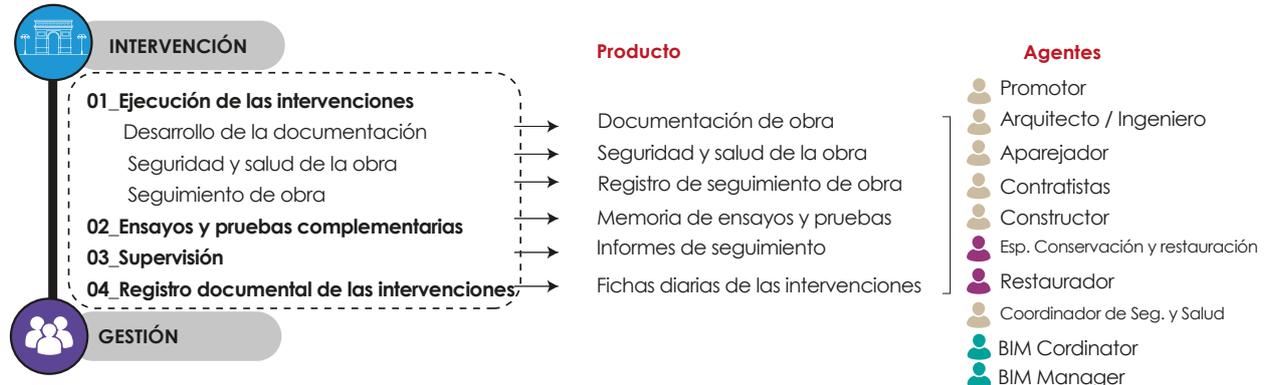


Figura 100. Determinación de las acciones dentro de la fase de intervención para la Iglesia de San Lorenzo.

## 6.7. Fase de gestión

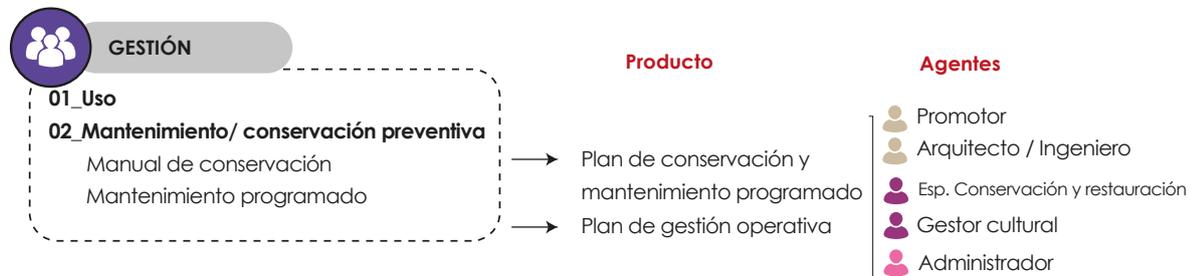


Figura 101. Determinación de la fase de gestión de la Iglesia de San Lorenzo, elaboración propia.

La confección del modelo virtual de la Iglesia de San Lorenzo en HBIM, posibilita su adopción en la conservación preventiva a través de la generación de un manual de conservación, del monitoreo de las intervenciones realizadas y el periódico mantenimiento, a modo de historia clínica de la edificación.

El modelo sirve de base para la realización de planes de difusión como, por ejemplo, la utilización de la realidad virtual y/o aumentada o el desarrollo de APPs para plataformas móviles con objeto de interpretación y divulgación.

Además, podemos enumerar la aplicación del modelo en complementación con otros programas para el monitoriamiento de los visitantes, itinerarios, capacidad, confort de los visitantes, etc., a través de parámetros vinculados. (Salvador García, 2020)

Por las limitaciones de tiempo y extensión del trabajo de máster, del modelo propuesto, se han desarrollado con mayor profundidad las etapas de identificación del problema, identificación del bien, diagnóstico, proyecto de intervención siendo en menor medida desarrolladas las etapas de intervención y gestión. Sin embargo, se expusieron a lo largo del trabajo las diversas posibilidades comprobadas sobre la metodología HBIM.



Figura 102. ciclo de tutela aplicado en la Iglesia de San Lorenzo, elaboración propia.

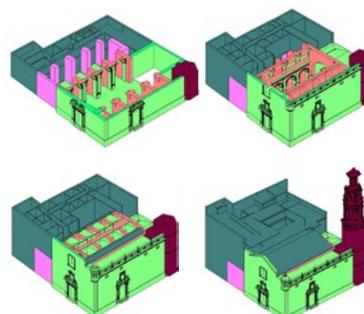
## 6. Resultados

Este trabajo contribuye principalmente en dos sentidos: el primero se refiere a la generación de un flujo de trabajo que responda adecuadamente a las fases que engloban la conservación y restauración del patrimonio arquitectónico, mientras el segundo corresponde a la aplicación de la metodología HBIM como herramienta unificadora y generadora de información, tal y como se propone en la guía y por parte de los autores estudiados. (buildingSMART Spanish Chapter, 2018; García-Valldecabres et al, 2018; Salvador García, 2020)

En el desarrollo de nuestra investigación fueron experimentadas algunas aplicaciones en el caso de la Iglesia de San Lorenzo como modelo central, dando como resultado la confección de diferentes documentos gráficos. El estudio y el modelado de la iglesia también facilitaron la reconstrucción de las fases históricas del edificio, las cuales son de inmensa utilidad para comprender algunas de las patologías actuales y poder responder de forma más eficiente a las mismas. Se debe acrecentar que la programación del modelo prima por el ahorro de tiempo a la hora de generar información gráfica, como también la cuantificación de materiales y la representación de nuevas intervenciones. La confección del modelo HBIM demostró, así, las diversas aplicaciones que este tiene en el ámbito de la organización de la información con el fin de facilitar la comprensión del bien. Se debe puntuar, por fin, que esta información no se limita a una serie de parámetros vinculados a determinados objetos geométricos, sino que también se constituye por la necesaria integración entre documentos de distinta naturaleza.

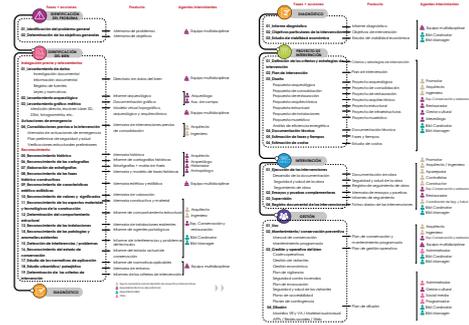
El resultado más importante se corresponde con las expectativas planteadas en el objetivo principal del trabajo. A lo largo del trabajo, se ha ido mostrando de manera razonada, el conjunto de las distintas posibilidades que ofrece la aplicación de la metodología HBIM en el ciclo de tutela para mejorar la eficiencia en la gestión del patrimonio cultural a través de las fases que lo componen. Y, que se ha experimentado, en el caso de estudio de la Iglesia de san Lorenzo y el convento anexo de Valencia (Pag. 83).

El estudio y representación de las fases históricas y el reconocimiento estratigráfico del edificio es fundamental para comprender el estado actual, diagnosticar y proponer las tareas de conservación y restauración.



A continuación, enumeramos los resultados según se corresponden con los logros obtenidos a partir del desarrollo e implementación de los objetivos específicos. En primer lugar, se logró definir el modelo de gestión en el que se contempla el conjunto de acciones que componen los procesos de la tutela, tal como se desarrolló en las páginas correspondientes (Pag. 52-53). Así mismo, **1.1.** han definido las acciones de tutela entorno al patrimonio cultural arquitectónico sostenible (de una extensión y volumen medio entre 2 y 4 mil metros cuadrados edificados). **1.2.** Gracias a los distintos estudios analizados, a la revisión de la literatura específica y la experiencia, se ha podido definir los roles y las tareas que se realizan para mejorar de forma eficiente la gestión del proceso de tutela. **1.3.** Según el mismo análisis, se definió el flujo de trabajo para implementar la tutela mediante la metodología HBIM. **1.4.** La definición y el desarrollo la matriz de responsabilidades.

La matriz propone un orden para el desarrollo de los procesos, busca una mirada amplia y multidisciplinar. Determina los agentes que intervendrán a lo largo del ciclo de tutela y los entregables que producirán.

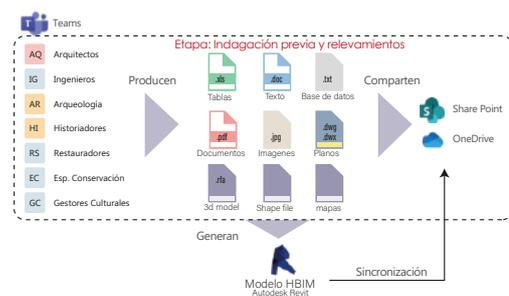


En segundo lugar, se creó el modelo central 3D-HBIM y se lograron mostrar las capacidades y los alcances de las distintas herramientas implementadas tras la creación del modelo para a la gestión de la tutela aplicadas al caso de estudio: Asimismo, se ha logrado; **2.1.** aplicar las fases histórico-constructivas en el modelo 3D-HBIM; **2.2.** aplicar en el modelo los resultados de la implementación de los estudios estratigráficos murarios en el modelo 3D-HBIM; **2.3.** La aplicación en el modelo 3D-HBIM de la descriptiva de los materiales históricos que definen los sistemas constructivos, así como, las manifestaciones patológicas que concurren en el edificio; **2.4.** desarrollar en el modelo 3D-HBIM de los estudios de la evolución y del estado actual de la estructura; **2.5.** se ha generado de forma semiautomática, resumen del conjunto de aplicaciones de las fichas de las lesiones que concurren en las fábricas del edificio.



Y, en tercer lugar, se ha logrado definir en tercer logro específico; definir el protocolo proceso para la implementación de alto grado de integración del modelo 3D-HBIM mediante la plataforma colaborativa Teams.

El uso de la plataforma de Microsoft Teams para la generación de un entorno común de datos (CDE), resulta una aportación considerable como método de organización de equipos de trabajos, en combinación con la metodología HBIM, resultando de esto, un espacio digital único que permite realizar revisiones y modificaciones en tiempo real. Esto es posible a través de la sincronización de los modelos locales en HBIM correspondiente a cada agente que conforma el modelo central. La plataforma posibilita un control sobre los permisos de visualización y edición de los datos para cada uno de los agentes del modelo.



## 7. Discusión

Se originó un nuevo tipo de repositorio que permite contener toda la información relativa al bien patrimonial, y representa un objeto de estudio para la consulta y difusión de forma sencilla, directa, útil y operativa a la vez. De este modo se resuelve el problema planteado en la gestión del patrimonio de forma simultánea, ya que mejora el flujo de trabajo, aumenta la productividad, minimiza los errores y facilita la toma de decisiones en el caso de intervención destinada a la conservación del bien patrimonial.

Se han generado nuevos documentos de carácter digital para el conocimiento, la memoria y la tutela del bien, según las recomendaciones de la Carta sobre la preservación del patrimonio digital (UNESCO, 2009).

Se validaron los resultados del modelo 3D-HBIM con expertos que sugirieron que sería interesante incorporar un visor del modelo 3D-HBIM para los agentes no técnicos, de forma que estos pudieran también visionar y navegar por la maqueta virtual del edificio a la vez que se consulta la información.

La adopción de la metodología HBIM resulta válida para la gestión de los bienes patrimoniales, basándonos en las múltiples soluciones y su adaptabilidad para incluir y generar diferentes tipos de documentos. Destacamos aún que la disponibilidad de la información tiene como principal ventaja la reutilización, pero en muchos casos para lograrlo es necesario generar diferentes algoritmos que puedan transformar y generar diferentes tipos de documentos entregables.

## 8. Conclusiones

Generar un orden para la información en el campo del patrimonio es fundamental para desarrollar con eficiencia las diversas y complejas tareas para la protección, salvaguarda y gestión de los bienes. En este sentido, este trabajo aporta un análisis a cerca de los pasos a seguir para una correcta comprensión de los edificios históricos. Con la ayuda de tecnologías digitales como BIM se propone una metodología compatible y aplicable a los procesos patrimoniales centrándose en la organización de las informaciones.

HBIM (Sistema de Información de Edificios Históricos) representa una herramienta muy prometedora para la gestión de patrimonio, tanto para la operativa diaria como para la conservación planificada del propio bien. Sin embargo, requiere un esfuerzo para adaptar herramientas y métodos probados y comprobados para nuevas construcciones a los edificios del Patrimonio Cultural existentes. El punto de partida del proceso, en consecuencia, es reunir los requisitos para elaborar el modelado geométrico e informativo centrado en el ámbito del patrimonio cultural, una elaboración e interpretación razonada en profundidad del bien edilicio desde el punto de vista geométrico, constructivo de la materialidad, así como, del reconocimiento de las manifestaciones patológicas y de los valores históricos culturales.

HBIM es una forma de abordar la tutela y la documentación de un proyecto utilizando tecnología informática 3D que se comparte entre los agentes involucrados en la fase de recopilación de información, los estudios previos, la puesta en valor, por parte de los equipos de proyecto, de recuperación, conservación, construcción, uso y explotación, en el que se incorpora y programa, el medio físico y otra información que abarca todo el ciclo de vida de la construcción en el gemelo virtual creado o modelo 3D-HBIM.

La teoría de la colaboración total generalmente prevé que todo equipo formado por los agentes implicados) se involucre desde el inicio de los estudios, sentándose juntos las bases sobre la información necesaria y la gestión del bien cultural. Básicamente, el equipo construye el modelo 3D virtual en BIM. Esta colaboración permite una mayor prontitud de llevar a cabo las actuaciones, una mejora en la implementación de las actuaciones y una verdadera intervención ajustada, a todos los niveles. (Barnes y Nigel Davies, 2015)

Los gestores de los bienes culturales necesitan cada vez más una calidad de la documentación para determinar las actuaciones propias de la tutela, de manera eficiente y rápida debido a la competencia más intensa dentro de la oferta cultural propia de los museos y lugares históricos, de tal forma que la colaboración mayor o total se pueda lograr satisfacer.

La información está en el corazón de HBIM, y la información estandarizada y bien estructurada permitirá enormes eficiencias en la gestión de los edificios y lugares de interés cultural. Es decir, mejorar la toma de decisiones entre el conjunto de los participantes individuales en la gestión de la tutela, así como, asignar la responsabilidad de manera equitativa entre los participantes. (www.gov.uk, 2021)

La reducción en las correcciones de campo y la reconstrucción por sí sola proporciona enormes ventajas en la gestión y toma de decisiones, y los ahorros en los costes. Los avances recientes en hardware y software de computadora han hecho que la tecnología BIM esté disponible y sea relevante para el trabajo de todos los miembros de un equipo. El uso de HBIM bien puede cambiar la forma en que los gestores conciben la tutela, realizan los estudios previos y proyectan las actua-

ciones, la comunicación, la interceptación y la gestión integral de los bienes. Pero esta herramienta no cambiará las responsabilidades centrales de los agentes involucrados en la gestión de la tutela de los bienes de carácter patrimonial.

No obstante, HBIM no reemplazará la necesidad de que los agentes se transmitan su intención sobre el diseño de las distintas actuaciones, ni reemplazará el diálogo del proceso de presentación a través del cual los restauradores y subcontratistas demuestran su interpretación y comprensión de la intención de estas.

Generar un repositorio unificado de la información en el campo del patrimonio es fundamental para desarrollar con eficiencia de las diversas y complejas tareas para la protección, salvaguarda y gestión de los bienes. En este sentido, este trabajo aporta un análisis a cerca de los pasos a seguir para una correcta comprensión de los bienes inmuebles.

A partir del modelo central de datos generado y con la participación de los agentes que intervienen en el conjunto de las actuaciones del proceso para la tutela a través de la plataforma de comunicación colaborativa, se ha validado las utilidades de BIM para la gestión eficiente del bien objeto de estudio. De tal forma, que es factible incorporar todos los tipos de documentos digitales generados por los diferentes agentes en un modelo central unificado. La desventaja es que se generan archivos con un peso considerable, pero esto se soluciona fraccionando y enlazando los mismos en un archivo central.

Así mismo, se observa que las principales aportaciones de incorporar HBIM se refiere a la exploración de sus utilidades en el estudio de fases históricas, estratigrafías, mapeo de patologías y el despiece de elementos singulares. La más importante, todavía, es relacionar todas estas informaciones geométricas con datos y, a su vez, posibilitar que estos datos puedan ser gestionados en bases de datos y enlazados con otros.

Por ello, se concluye, que la adopción de la metodología HBIM resulta válida para la gestión de los bienes patrimoniales, basándonos en las múltiples soluciones y su adaptabilidad para incluir y generar diferentes tipos de documentos. Destacamos, que la disponibilidad de la información tiene como principal ventaja la reutilización, ya que a través de la generación de algoritmos puede ser transformada, generando los diferentes de documentos necesarios para la tutela del bien.

Por tanto, el trabajo colaborativo facilitado a través de centralizar toda la información generada en un único modelo digital compartido entre todos los agentes implicados (Bimnd, 2021), es la base de la metodología HBIM. Dado que, las diferentes disciplinas implicadas facilitan un entorno común, de manera que permita el intercambio de datos a través de un espacio digital único. Ofrece la posibilidad de que los agentes puedan trabajar a la vez, independientemente de su ubicación.

El uso de una plataforma de colaboración BIM ofrece numerosos beneficios respecto a la metodología tradicional: El flujo de trabajo es más eficiente y preciso, tenemos mayor control sobre los datos generados y mejora la interoperabilidad. Además, evitamos errores durante la fase de ejecución del proyecto y, en consecuencia, reducimos costes.

Gracias a este Entorno Común de Datos, los agentes que intervienen en la conservación del patrimonio, pero no manejan softwares BIM, como el historiador, podrán gestionar su información y de esta manera, toda la información del bien quedará unificada en un único repositorio.

El proceso de la toma de decisiones y de la gestión seguido por el equipo técnico se ha basado en los criterios de la puesta en valor del bien, la significación histórico-artística y la protección a través de la aproximación crítica y analítica. Así mismo, el repositorio de información generado queda a disposición para futuras actuaciones sobre el bien. No sólo la comunidad científica tendrá acceso a la información elaborada por los diferentes profesionales involucrados en el proceso de estudio de un bien patrimonial, sino que toda la sociedad en general podrá beneficiarse del uso de esta metodología de trabajo al poder tener acceso directo a la información almacenada, lo que fomentará el establecimiento de una sociedad proclive y abierta a la innovación que acoja el desarrollo y la adopción de nuevas ideas y su incorporación a nuevos procesos, productos y servicios como pretende la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación (2012).

Así mismo, el gestor de la iglesia de san Lorenzo y el exconvento anejo, el Servicio de Bienes y Patrimonio del arzobispado de Valencia, podrán beneficiarse para la gestión integral del inmueble y podrán implementar mediante el método y protocolos definidos otros edificios dimensiones y propiedades análogas.

Y, por último, el conjunto de estos resultados, bien pueden ser implementados en monumentos de similares características. No obstante, si sólo nos quedáramos en la utilización de un producto tecnológico se podría correr el riesgo de la obsolescencia del trabajo debido a la rápida evolución de las aplicaciones con el paso del tiempo. Por ello, dado que los resultados se asientan en un modelo metodológico no se caerá en una mera herramienta utilitarista.

A nivel personal el desarrollo de este trabajo me ha despertado el interés por las técnicas digitales existentes aplicadas en la gestión de la información de los bienes patrimoniales, la metodología HBIM fue útil para cohesionar todos los conocimientos incorporados y madurados en la formación del máster. Por fin, concluyo que la viabilidad de HBIM se basa en una minuciosa organización de los procesos, la clara definición de los objetivos y fundamentalmente de un equipo de trabajo para llegar a resultados aceptables.

## 8.1. Líneas abiertas para investigaciones futuras

El campo del HBIM está en constante evolución, abriendo diversos debates y temas de investigación. Algunas vertientes que pueden ser profundizadas a través de este trabajo tienen relación con el desarrollo de planes directores utilizando HBIM, como también planes de difusión que incorporen las tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada para la reconstrucción de ruinas y materialización de fases evolutivas.

Un tema que todavía no está del todo resuelto es la conversión de la nube de puntos de escaneos láser 3D en geometrías sólidas, con el fin de facilitar el modelado y en consecuencia los diferentes análisis. Para ello todavía falta el desarrollo de algoritmos y de programas específicos.

Existe también la necesidad de investigar aplicaciones específicas del patrimonio como, por ejemplo, el entrecruzamiento de las informaciones provenientes de ensayos de técnicas no destructivas, como cámaras termografías, espectrómetros, radares, etc., en relación con el modelo HBIM. Por fin, se apunta que la implementación de la metodología todavía necesita del desarrollo de investigaciones en relación con la utilidad y aprovechamiento de la gran cantidad de datos generados como, por ejemplo, aplicaciones para la gestión de bienes patrimoniales y el desarrollo de aplicaciones móviles de monitoreamiento en tiempo real.

El trabajo de registro mediante la metodología HBIM, ha resultado ser un método válido e integrador de la documentación ya que: 1) permite introducir una gran cantidad de información tanto geométrica como documental; 2) enlaza bases de datos; 3) facilita el diseño de estrategias de gestión.

Gracias a este Entorno Común de Datos, los agentes que intervienen en la conservación del patrimonio, pero no manejan softwares BIM, como el historiador, podrán gestionar su información y de esta manera, toda la información del bien quedará unificada en un único repositorio.

El proceso de la toma de decisiones y de la gestión seguido por el equipo técnico se ha basado en los criterios de la puesta en valor del bien, la significación histórico-artística y la protección a través de la aproximación crítica y analítica. Así mismo, el repositorio de información generado queda a disposición para futuras actuaciones sobre el bien.

No sólo la comunidad científica tendrá acceso a la información elaborada por los diferentes profesionales involucrados en el proceso de estudio de un bien patrimonial, sino que toda la sociedad en general podrá beneficiarse del uso de esta metodología de trabajo al poder tener acceso directo a la información almacenada, lo que fomentará el establecimiento de una sociedad proclive y abierta a la innovación que acoja el desarrollo y la adopción de nuevas ideas y su incorporación a nuevos procesos, productos y servicios como pretende la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación (2012).

Y, por último, el conjunto de estos resultados, bien pueden ser implementados en monumentos de similares características. No obstante, si sólo nos quedáramos en la utilización de un producto tecnológico se podría correr el riesgo de la obsolescencia del trabajo debido a la rápida evolución de las aplicaciones con el paso del tiempo. Por ello, dado que los resultados se asientan en un modelo metodológico no se caerá en una mera herramienta utilitarista.

## 9. Bibliografía

- Ahmeda Rouili, Mabroukb Touahmia (2019). *Numerical Analysis of the Tetrapylon Roman's Triumphal Arch of Tebessa: A Case Study*. Journal of materials and engineering structures 6 (2019).
- Almagro Gorbea GORBEA, A. (2019). *Half a century documenting the Architectural Heritage with photogrammetry*, *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, N° 11, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 4-30. <https://doi.org/10.4995/ege.2019.12863>.
- Angulo Fornos, R. (2019). *Desarrollo de modelos digitales de información y la gestión en el patrimonio arquitectónico y la gestión en el patrimonio arquitectónico: Desarrollo de modelos digitales de información*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.
- Ballart, H. J., y Juan, J. J. (2001). *Gestión del patrimonio cultural*. Barcelona: Ed. Ariel, S.A.
- Barnes P. y Nigel Davies N. (2015). *BIM in Principle and in Practice*, 2nd Edition. ICE Publishing.
- Beltramo, S., Diara, F., y Rinaudo, F. (2019). Evaluation of an Integrative Approach between Hbim and Architecture History . *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Copernicus GmbH*, 225–29.
- Besana, D. (2019). "Cultural Heritage design: theories and methods for the project complexity management", *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, N° 11, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 31-43. <https://doi.org/10.4995/ege.2019.12864>.
- Bew, M., y Richards, M. (2008). Bew-Richards BIM Maturity model. *BuildingSMART Construct IT Autumn Members Meetings, Brighton*.
- BINnD (2020) *¿Qué es el trabajo colaborativo en BIM?* <https://www.bimnd.es/que-es-trabajo-colaborativo-bim/> (consulta 27 de agosto 2021).
- Boato, A. (2008). *L'archeologia in Architettura. Misurazioni, stratigrafie, datazioni, restauro*. Editore Marsilio, Collana Elementi.
- Boix, V. (1849). *Manual del viajero y guía de los forasteros*. Valencia: Imprenta de José Rius.
- Boletín Oficial del Estado. (1889). Real Decreto de 24 de julio de 1889 por el que se publica el Código Civil. Madrid. Obtenido de [https://www.boe.es/eli/es/rd/1889/07/24/\(1\)/con](https://www.boe.es/eli/es/rd/1889/07/24/(1)/con)
- Boletín Oficial del Estado. (1985). Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>
- Brumana, R., Oreni, D., Raimondi, A., Georgopoulos, A., y Bregianni, A. (2013). From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi. *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*. Marseille, France. doi:10.1109/DigitalHeritage.2013.6743789
- buildingSMART. *buildingsmart*. Obtenido de <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- buildingSMART Spanish Chapter. (2018). *Guía de usuarios BIM aplicado al Patrimonio Cultural [en línea]*. Disponible en: <https://www.buildingsmart.es/bim/guías-ubim/>. (consulta 27 de agosto 2021).
- Camilo, C. *Msistudio*. Obtenido de <https://msistudio.com/que-normas-y-estandares-bim-seguimos/>

- Castellano Román, M. (2015). Generación de un modelo de información del patrimonio inmueble en el momento de su protección jurídica. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 266-277. doi:doi:10.4995/ega.2015.4060
- Castellano Román, M. (2017). *La Cartuja de Nuestra Señora de la defensión en Jerez de la frontera: un modelo digital de información para la tutela de bienes inmuebles del patrimonio cultural*. [Tesis doctoral]. Universidad de Sevilla.
- 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*, 14. doi:https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00110
- Choay, F. (2014). *Alegoria do património* (3ª edição ed.). Lisboa: Edições 70.
- Consigli Superiori delle Antichittá e Belle Arti. (1932). Carta del Restauro. Roma.
- Diara, F., y Rinaudo, F. (2018). Open source HBIM for Cultural Heritage: a project proposal. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2, 2018 ISPRS TC II Mid-term Symposium "Towards Photogrammetry 2020"*, 303-309.
- Diara, F., y Rinaudo, F. (2020). Building archaeology documentation and analysis through open source HBIM solutions via nurbs modelling. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf Sci., XLIII-B2-2020*, 1381–1388. doi:https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII
- 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"*, (págs. 369-376). Milan.
- Eastman, C. M. (1999). *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*. Flroida: Boca Ratón.
- Esarte Esevenri, A. (13/08/2020). *Espacio BIM*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/bcf> (consulta 27 de agosto 2021).
- Esri. *Esri España*. Obtenido de <https://www.esri.es/es-es/descubre-los-gis/qu-es-sig/que-es-sig> (consulta 27 de agosto 2021).
- Fassi, F., C. Achille, A. Mandelli, F. Rechichi y S. Parri, (2015). A New idea of bim system for visualization, web sharing and using huge complex 3d models for facility management. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(5W4), 359-366.
- Fregonese, L., C. Achille, A. Adami, F. Fassi, A. Spezzoni y L. Taffurelli, (2015). BIM: an integrated model for planned and preventive maintenance of architectural heritage. *Digital Heritage*. Granada: IEEE, 51-54. DOI10.1109/DigitalHeritage.2015.7413832.
- Ferrer Orts, A. (julio-diciembre de 2016). La Iglesia y el convento de San Lorenzo (Valencia), antigua sede de la provincia franciscana de San José de Valencia, Aragón y Baleares. *Hispania Sacra, LXVIII*(138), 491-501. doi:10.3989/hs
- Ferreira-Lopes, P., Pinto Puerto, F. S. (2017). *Creación de un modelo de información relacional de la red tardogótica. Avances, problemáticas y soluciones*. Obra Congrua. Estudios sobre la construcción gótica peninsular y europea Ed. Instituto Juan Herrera, Madrid, 2017, pp. 365-377. ISBN: 978-84-9728-565-0.

- Ferreira-Lopes, P., Pinto Puerto, F. S., Jiménez Mavillar, A., Suarez, J. L. (2016). *Aplicación de nuevos modelos digitales para el conocimiento del patrimonio tardogótico en Andalucía. Avances, problemáticas y soluciones*. Rehabend 2016. Euro-American Congress. Construction pathology, rehabilitation technology and heritage management: (6th Rehabend Congress). Burgos (Spain), May 24th-27th, 2016 / coord. por L. Villegas, 2016, ISBN 978-84-608-7941-1, págs. 178-185.
- Galán Pérez, A., Pardo San Gil, D. (2018). *Monográfico: Las Profesiones del Patrimonio Cultural. Grupo Español del International Institute for conservation, Asociación de Conservadores Restauradores de España ACRE. Ministerio de cultura y deporte, España. ISBN: 978-84-09-04731-4*.
- García-Valldecabres, J.L., M.C. López-González y I. Jordán-Palomar, (2018). The Study of Architectural Heritage with HBIM Methodology. A Medieval Case Study. En: E. Castaño Perea y Echeverría Valiente E. (eds.), EGA Expresión Gráfica Arquitectónica 2016. Springer, Cham, 945-955.
- Gómez Jiménez, J. J. (2018). *Reclamando ser profesión. Periles y competencias del historiador del arte en el patrimonio cultural*. Monográfico: Las Profesiones del Patrimonio Cultural, 86-93.
- Hichri, N., Stefani, C., Livio De Luca, Veron, P., y Hamon, G. (September de 2013). From Point Cloud To Bim: a Survey of Existing Approaches. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W2*, 343-348. Obtenido de <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-343-2013>.
- Historic England. (2017). *Historic England BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information*.
- ICOMOS. (2011). Principios de La Valeta para la salvaguardia y gestión de las poblaciones y áreas urbanas históricas. Adoptado por la XVII Asamblea General de ICOMOS.
- Infrastructure and Projects Authority, UK (2016). *Government Construction Strategy: 2016-2020*. Consultado en: <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy-2016-2020> (consulta 27 de agosto 2021).
- Jordán Palomar, I. (2019). *Protocol to manage heritage-building intervention using Heritage Building Information Modeling (HBIM)*. Valencia: Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Jordan-Palomar, I., Tzortzopoulos , P., García-Valldecabres, J., y Pellicer, E. (2018). Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). *Sustainability, 10*(4), 908. doi:<https://doi.org/10.3390/su10040908>
- Junta de Andalucía, C. d. (2012). *III Plan General de Bienes Culturales*.
- Jordán-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., García-Valldecabres, J. y Pellicer E., (2018). Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). *Sustainability, 10*(908), 1-19.
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, 266, de 6 de noviembre de 1999, 38925-38934. <https://www.boe.es/eli/es/l/1999/11/05/38>
- Linares Jáquez, Y. (2019). *Protocolo HBIM para la restitución histórica del patrimonio cultural y arquitectónico: Reconstrucción virtual del Foro Romano de Sagunto*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/128390>
- Lo Turco, M., M. Mattone y F. Rinaudo, (2017). Metric survey and bim technologies to record decay conditions. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42*(5W1), 261-268.
- Maxwell, I. (2014). *Integrating Digital Technologies in Support of Historic Building Information Modelling: BIM4Conservation (HBIM)*. London, UK.: COTAC.

- Ministerio de Economía y Competitividad de España, (2012). Estrategia española de ciencia y tecnología y de innovación 2013-2020.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2016). *Pliego de prescripciones técnicas que han de regir en el contrato de servicios para la redacción de un nuevo Plan Director del Castillo de Monteagudo* (Murcia). Madrid: Secretaria de Estado de cultura.
- Mirri, M. (2009). *Per una storia della tutela del patrimonio culturales*. Viterbo: Edizioni Sette Città.
- Molina-Liñán, M., Flores Ortiz N. (2018). Patrimonio y Arquitectura. Una revisión actual de la profesión. Monográfico: Las Profesiones del Patrimonio Cultural, 125-135.
- Murphy, M., McGovern, E., y Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27(4), 311–327. doi:<https://doi.org/10.1108/02630800910985108>
- Nieto Julián, E. (2019). Curso Fundamentos de BIM CACO A - Tema 13. España. Obtenido de <https://youtu.be/dRpBXUDqhAA?list=PLeiQw9uQvr8Qivn0qofv0B-ZTR2x5W6x->
- Nieto Julián, J., Moyano Campos, J., Rico Delgado, F., y Antón García, D. (2013). La necesidad de un modelo de información aplicado al patrimonio arquitectónico. *1º Congreso Nacional BIM - EUBIM 2013*. Valencia.
- Nieto, J., Moyano, J., y Fernández-Valderrama, P. (2014). Implementación de las nuevas técnicas de levantamiento en el sistema BIM (Building Information Modeling). *XII Graphic Expression applied to Building International Conference (APEGA 2014)*, 104-113.
- Nieto, J., Moyano, J., Rico, F., y Antón, D. (2016). Management of built heritage via the HBIM project: a case study of flooring and wall tiling. *Virtual Archaeology Review*, 7(14), 1-12.
- Penttilä, H. (2006). Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. *ITCON 11 (Special Issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality)*, 395–408.
- Project Management Institute, I. (2013). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) Quinta Edición. Pensilvania, EE.UU.: Project Management Institute GLOBALSTANDARD.
- Real Academia Española. (30/07/2021). *Diccionario de la lengua española, 23.ª ed. versión 23.4 en línea*. Obtenido de <https://dle.rae.es>
- Reimóndez Becerra, M. C. (2018). Arqueología urbana: peril profesional y nuevas tendencias. Monográfico: Las Profesiones del Patrimonio Cultural, 140-149.
- Remondino, F. (2006). Image-based 3d modelling: a review. *The Photogrammetric Record*, 21(115), 269-291.
- Salvador García, E. (2020). *Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de València*. Valencia.
- Sánchez, A., K.D. Hampson y M. Sherif, (2015). Sydney Opera House. Case study report. 2015. Sustainable Built Environment. National Research Centre.
- Segura, S. (2015). *El Plan director como instrumento de gestión para la recuperación y conservación del patrimonio: El caso del plan director de San Juan del Hospital de Valencia*. Valencia: [Trabajo Final de Master, Universidad Politécnica de Valencia].
- Succar, B. (2008). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *University of Newcastle, Australia*.

- Talaverano, R., y Murillo Fragero, J. (26-27 de 10 de 2020). La consideración histórica y arqueológica en la creación de modelos HBIM. Los estudios previos. *VII Seminario de estrategias para el conocimiento del patrimonio arquitectónico*. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=SiiN\\_SQjty8yab\\_channel=ProyectoTUTSOSMOD](https://www.youtube.com/watch?v=SiiN_SQjty8yab_channel=ProyectoTUTSOSMOD)
- UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural . París.
- UNESCO. (2003). Charter on the Preservation of Digital Heritage. Obtenido de [http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL\\_ID=17721yURL\\_DO=DO\\_TOPICyURL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721yURL_DO=DO_TOPICyURL_SECTION=201.html) (consulta 27 de agosto 2021).
- UNESCO. (2003). Convención para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial . Paris.
- UNESCO (2009), Carta sobre la preservación del patrimonio digital. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529.page=2> (consulta 27 de agosto 2021).
- UNESCO. (2014). *Culture for Development Indicators. Methodology Manual*. United Nations Educational, Scientific And Cultural Organization, París: UNESCO-AECID.
- Vega Ballesteros, J. M., da Casa Martín F. (2018). La necesidad de un Técnico Especialista en Conservación Preventiva del Patrimonio Arquitectónico (Bienes Culturales Inmuebles). Monográfico: Las Profesiones del Patrimonio Cultural, 150-158.
- Vidal García, C, (2011). El clasicismo academicista en la Valencia de la segunda mitad del siglo XVIII: una mirada a través de 3 fachadas de Antonio Gilabert, EGA Revista Expresión Gráfica Arquitectónica, N° 17, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 174-184.<https://doi.org/10.4995/ega.2011.922>
- Viñaz, S. Munoz. (2003). Teoría Contemporánea de la Restauración. Ed. Síntesis.
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings- Literature review and future needs. *Automation in construction*, 38, 109-127.