

GUÍA DE USUARIOS BIM



BIM aplicado al Patrimonio Cultural

Documento 14



Derecho de Autor © 2018 buildingSMART Spanish Chapter

Se otorga permiso para copiar, Distribuir y/o modificar este

Documento bajo los términos de la Licencia de Documentación

Libre GNU, Versión 1.1 o cualquier otra versión posterior publicada

por la Free Software Foundation; sin Secciones invariantes.

Patrocinador del proyecto

Building SMART Spain Chapter

Coordinador del proyecto

Alberto Armisén Fernández

Coordinadores de los grupos de trabajo

Elsa Soria

Juan Antonio Herráez

Luis Agustín

Yessica Espinosa

José Alberto Alonso

Javier Leache Aristu

Adrián Burgada Ereño

Rafael Martín Talaverano

Elena Salvador

Ana Mahillo

Isabel Jordán

Jesús González Arteaga

Adolfo Soto

José Ignacio Murillo Fragero

Enrique Nieto

Carlos Ramírez

Antonio Monterroso

María Isabel Sardón

Juan José Moyano



Redacción y figuras

Rafael Martín Talaverano y José Ignacio Murillo Fragero

Las figuras del apartado “4. Casos de Estudio” han sido aportadas por los responsables de cada caso.

Coautores

Alberto Armisén.

Luis Agustín.

Yessica Benitez.

Antonio Coronel.

Luis Pérez de Prada.

José Alberto Alonso.

Elena Salvador.

José Manuel Lodeiro.

Ángel Esteve.

Elsa Soria.

Luis Baena.

Roberto Parra.

Raquel Lara.

Rita Lorite.

Raúl Ortíz.

Roque Angulo Fornos.

Adrián Burgada Ereño.

Manuel Castellano Román.

Félix Escribano.

Yessica Espinosa.

Jesús González Arteaga.

Juan Antonio Herráez.

José Luís Aguilar.

Isabel Jordán.

Javier Leache Aristu.

Ana Mahillo.

Rafael Martín Talaverano.

Antonio Monterroso.

Juan José Moyano.

José Ignacio Murillo Fragero.

Juan Enrique Nieto.

Carlos Ramírez.

Elena Salvador García.

María Isabel Sardón.

Matilde Moro.

Francisco Pastor.

Francisco Pinto.

Adolfo Soto



Prólogo

La asociación buildingSMART tiene como principal objetivo fomentar la eficacia en el sector de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad con la metodología BIM (Building Information Modeling). Para ello, cuenta con una estructura de grupos de trabajo a nivel internacional para abordar diferentes cuestiones al respecto.

Sin embargo, en el ámbito del Patrimonio Cultural, no existe en la actualidad una aproximación internacional sobre el uso de BIM, y es por lo que buildingSMART Spanish Chapter ha puesto en marcha un grupo de trabajo abierto, denominado LEGEND-HBIM, y que está centrado en BIM aplicado al Patrimonio Cultural.

De este modo, buildingSMART Spanish Chapter continua la labor de promover el uso de la metodología BIM a través de guías como esta, que supone una continuación de las guías uBIM publicadas en el año 2014.

Grupo de trabajo Legend-HBIM

El objetivo principal de este grupo de trabajo ha sido generar una guía específica para la correcta implantación del método BIM en el ámbito del Patrimonio Cultural, en los sectores de la investigación, de la conservación y de la comunicación. Para ello, se ha tomado en cuenta la necesidad de un acercamiento singular al patrimonio histórico que recoge tanto a nivel nacional como regional las leyes, las ordenaciones, los planes y demás herramientas para su protección.

Los principales aspectos debatidos se han centrado en el edificio histórico desde el marco de la eficiencia y el rigor: cómo documentarlo, cómo modelarlo para incluir esa documentación, cómo desarrollar diagnósticos rigurosos y, finalmente, cómo, a partir de esta información, organizar su conservación, mantenimiento y difusión. También se ha debatido sobre los roles profesionales, los flujos de trabajo o los tipos de entregables que un proyecto en clave BIM debe generar. En cuanto al software ha sido de suma importancia analizar los requisitos de interoperabilidad y los archivos de intercambio.

El desarrollo de dicha guía estándar se ha llevado a cabo de forma colaborativa, contando con la participación desinteresada de alrededor de 50 profesionales independientes. En el equipo de trabajo se han integrado miembros de las diferentes Comisiones Sectoriales (Constructoras, Ingenierías, Estudios de Arquitectura, Desarrolladores de Software, Centros de Investigación, Fabricantes de Productos y Materiales, Administraciones Públicas...) con el fin de obtener fórmulas de integración eficientes en esta metodología. El Grupo de trabajo se ha dividido en 5 equipos:

- SubGrupo de trabajo 1: Creación del modelo BIM (incluyendo el modelado 3D, la organización del sistema de información, los formatos de trabajo OpenBIM y la interconexión con bases de datos externas y sistemas GIS).
- SubGrupo de trabajo 2: Gestión del proyecto de intervención mediante BIM.
- SubGrupo de trabajo 3: Gestión de la obra y control de calidad mediante BIM.
- SubGrupo de trabajo 4: Gestión del mantenimiento, la conservación preventiva y la explotación de bienes culturales mediante BIM.
- SubGrupo de trabajo 5: Difusión y divulgación del patrimonio cultural mediante BIM.



Contenidos

1. BIM EN EL MARCO DEL ANÁLISIS, LA TUTELA Y LA DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

- 1.1. BIM, una breve introducción
- 1.2. Concepto de patrimonio cultural
- 1.3. Características del patrimonio histórico construido
- 1.4. Diferencias entre la edificación actual y el patrimonio histórico construido
- 1.5. Claves para la adecuación de BIM al patrimonio histórico construido

2. CREACIÓN DEL MODELO BIM ADAPTADO AL EDIFICIO HISTÓRICO

- 2.1. Sistema de información digital
- 2.2. Modelado 3D
- 2.3. Niveles de división y de desarrollo del modelo BIM
- 2.4. Ventajas del empleo de BIM
- 2.5. Aspectos a considerar para la licitación BIM

3. USOS DEL MODELO BIM EN EL SECTOR DEL PATRIMONIO CULTURAL

- 3.1. Investigación y diagnóstico
- 3.2. Propuestas de intervención
- 3.3. Ejecución de obras de intervención
- 3.4. Conservación preventiva
- 3.5. Difusión cultural

4. CASOS DE ESTUDIO

- 4.1. Capilla del Sagrado Corazón de la Catedral de Palma, Mallorca
- 4.2. Iglesia de Santiago de Peñalba, Ponferrada, León
- 4.3. Claustro de la Catedral de Pamplona
- 4.4. Cenador de Carlos V en el Alcázar de Sevilla

5. REFERENCIAS



1. BIM en el marco del análisis, la tutela y la difusión del patrimonio cultural

1.1. BIM, una breve introducción

El acrónimo BIM (Building Information Modeling) hace referencia tanto a una metodología como a las herramientas destinadas a crear un sistema de información digital de un edificio asociado a su documentación gráfica, siendo ésta generalmente un modelo tridimensional del mismo.

BIM es por tanto 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. 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.

El objetivo de la metodología BIM es potenciar el empleo de un modelo de información unificado y completo del edificio sobre el que desarrollar los distintos procedimientos de trabajo de un modo coordinado, sistemático y eficiente.

Las herramientas BIM permiten vincular la información de un modo coherente y fácil de gestionar a un tipo de representación gráfica que denominamos modelo paramétrico. Además, adaptadas en plataformas colaborativas, las herramientas BIM ayudan al desarrollo de actividades de carácter interdisciplinar.

Existen distintas alternativas para crear modelos BIM, posibilitando tanto la creación del modelo tridimensional a partir de un diseño (si el edificio no está construido) o de un edificio existente. De este modo, se puede crear una base de datos asociada a dicho modelo que incorpore información relativa a los materiales, las estructuras y sus instalaciones. En general, todas estas herramientas han sido diseñadas y creadas con un enfoque dirigido a la construcción de nuevas edificaciones y a la intervención en arquitecturas contemporáneas. Por ello, el sistema de información (propiedades, precios, tareas...) suele corresponder a características proporcionadas por cada fabricante según patrones estandarizados.

1.2. Concepto de Patrimonio Cultural

Patrimonio Cultural hace referencia al conjunto de bienes materiales e inmateriales, tangibles e intangibles, producto de la creatividad humana (Fig. 1.1). El patrimonio cultural es la herencia cultural propia del pasado de una persona, mantenida hasta la actualidad y transmitida a las generaciones presentes (UNESCO 2017). La transmisión del Patrimonio Cultural de individuo a individuo y de generación a generación va acompañada de su constante modificación. Estas transformaciones dejan sus huellas, generando una naturaleza evolutiva que es perceptible.





Fig. 1.1. Celebración de los Decreta de León frente a la fachada de la Real Colegiata de San Isidoro.

Con el fin de ofrecer una correcta conservación de estos objetos producidos a lo largo de la historia, el Patrimonio Cultural debe ser tratado desde enfoques que reúnan diferentes perspectivas conceptuales, metodológicas y profesionales. Por esta razón, los proyectos de gestión e intervención en el patrimonio generan amplios conjuntos de información que abarcan, entre otros aspectos, los referentes a sus características materiales y tecnológicas, las patologías que sufren y cómo estos aspectos evolucionan a lo largo de la historia.

1.3. Características del patrimonio histórico construido

Los edificios son una producción particular del patrimonio cultural, resultado de la relación con diferentes contextos de tipo social, político y tecnológico de la historia. Esta naturaleza transversal se integra en una red mayor de edificios y espacios urbanos que definen su función y usos a lo largo de la historia.

- **Naturaleza evolutiva del patrimonio histórico construido**

Los edificios históricos son el producto de una serie de transformaciones que han sucedido a lo largo de su historia. Por ello, no debemos concebirlo como un objeto fruto de un único impulso constructivo, sino como el resultado de una secuencia de acciones constructivas, destructivas y transformadoras.

Por lo tanto, no se trata de un edificio, sino de los sucesivos edificios, espacios y usos que han existido durante el tiempo de vida de estas construcciones. En definitiva, el estado actual de un edificio no es más que el que ofrece



en un momento preciso de su historia, y para conocerlo correctamente deberemos aportar el marco teórico adecuado que nos permita documentar con rigor su visión evolutiva, el eje vertebrador que permite integrar todo el conocimiento adquirido sobre el bien objeto de estudio.

En este sentido, es de gran ayuda el empleo de marcos metodológicos como el denominado *Arqueología de la Arquitectura*, donde se emplea como principal estrategia el estudio de los edificios históricos por medio de su análisis estratigráfico y tipológico (Fig. 1.2). Gracias a este modelo de análisis podemos organizar la secuencia de transformaciones que afectan al edificio histórico hasta un grado máximo de detalle que permite presentar de forma ordenada aquellos elementos menores en los que puede ser dividido el edificio (contextos o unidades estratigráficas). El empleo de estos marcos metodológicos adquiere una connotación mucho más relevante en los entornos BIM.

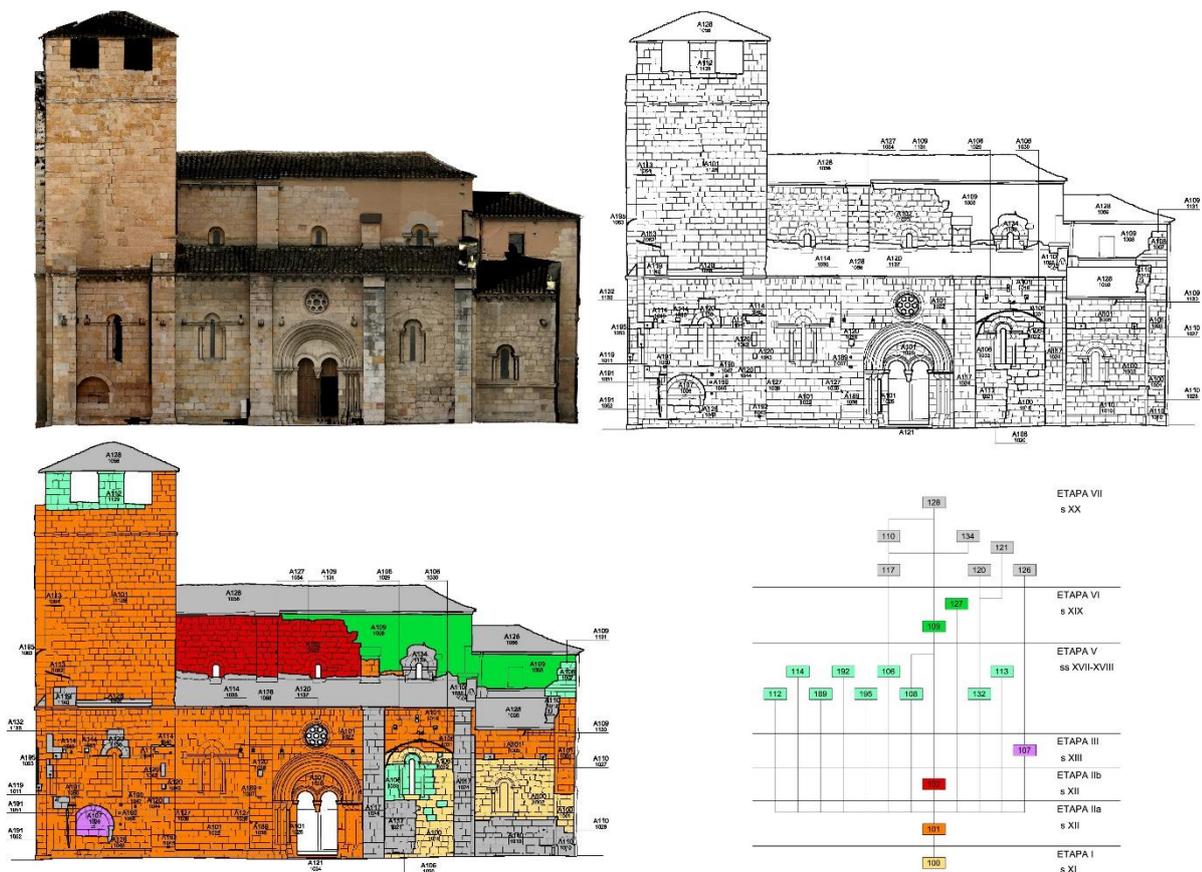


Fig. 1.2. Representación del análisis efectuado en el marco de la Arqueología de la Arquitectura de la iglesia de Santiago del Burgo, Zamora.

- Aspectos materiales y tecnológicos de las construcciones históricas

El patrimonio construido se caracteriza por el empleo de materiales y técnicas constructivas singulares, en muchos casos propias de cada edificio (Fig. 1.3). Estos aspectos han ido evolucionando, transformándose e incluso desapareciendo, de modo que la arquitectura actual emplea para su construcción materiales y técnicas muy distintas, generalmente basadas en elementos estandarizados. Es por lo tanto imprescindible que cualquier trabajo de intervención en el patrimonio construido se haga con un profundo conocimiento de los materiales y técnicas con los que fue edificado.



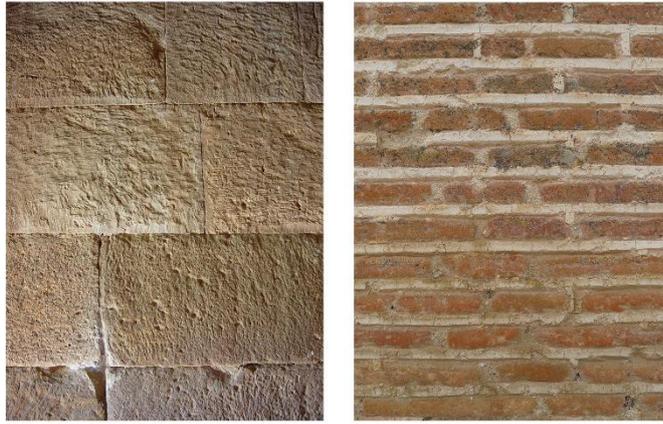


Fig. 1.3. Materiales y tecnologías reconocibles en las construcciones históricas.

■ Patología de las construcciones históricas

Los materiales, las estructuras y sus acabados, por causas que en unas ocasiones podemos atribuir a las condiciones de su entorno y en otras a problemas en la ejecución o en su uso, sufren alteraciones que pueden llegar a afectar gravemente a las construcciones. Por ello, para lograr una correcta gestión e intervención en el patrimonio histórico es necesario inspeccionar las lesiones producidas y determinar el origen de los procesos patológicos que las provocan para poder prescribir acciones correctoras eficaces (Fig. 1.4). Puesto que los procesos patológicos están íntimamente ligados tanto con la historia del edificio como con sus características materiales, para entenderlos adecuadamente es preciso conocer, entre otros factores, su secuencia de transformaciones (su naturaleza evolutiva), los materiales y técnicas históricas que fueron empleados en su construcción, y las condiciones del entorno que les rodea (físico, microclimático y humano).

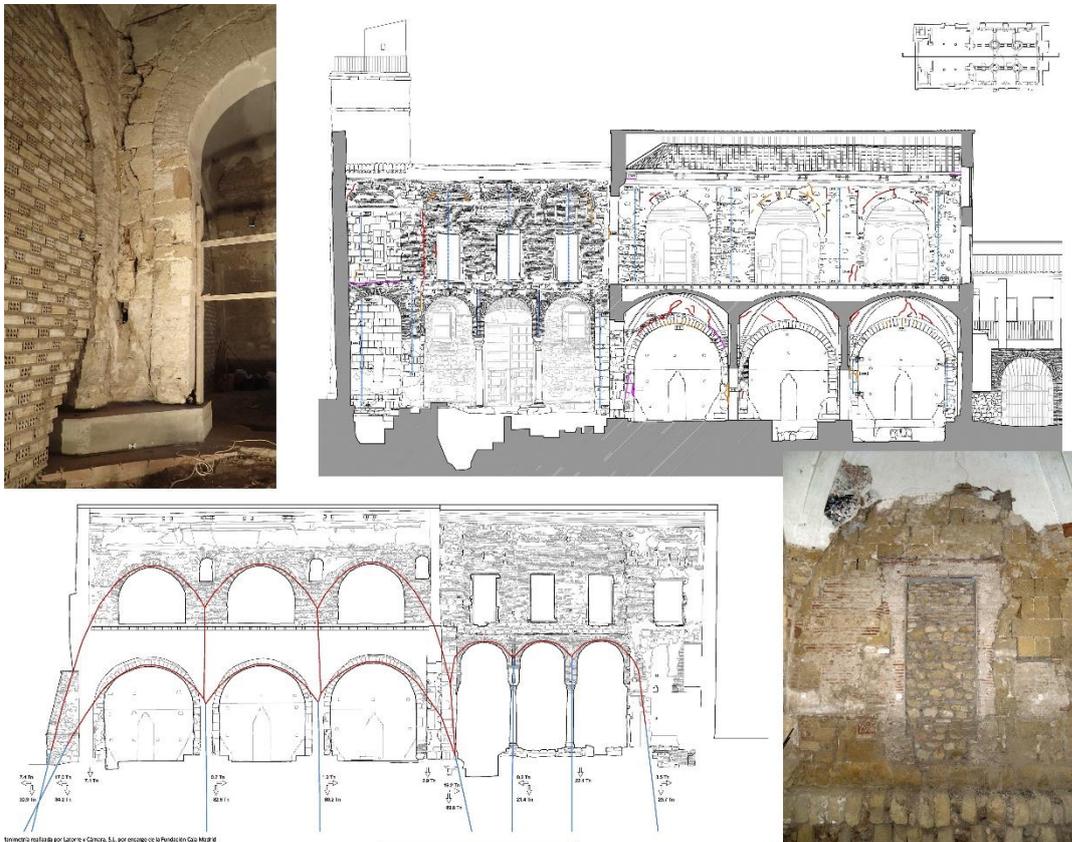


Fig. 1.4. Problemas estructurales y la representación de su análisis en la iglesia de Santa Clara de Córdoba.



1.4. Diferencias entre la edificación actual y el patrimonio histórico construido

Al igual que el resto de manifestaciones materiales del patrimonio cultural, el patrimonio histórico construido presenta características singulares que lo diferencia radicalmente de las producciones contemporáneas. Los edificios históricos no se conciben y ejecutan del mismo modo que las construcciones actuales de nueva planta y, por ello, de cara a la adaptación de los protocolos BIM al patrimonio histórico es fundamental tomar en cuenta la siguiente comparativa:

- La construcción actual responde a un proyecto de concepción unitaria que emplea en gran medida materiales y elementos constructivos estandarizados y prefabricados.
- Sin embargo, la arquitectura histórica no se puede entender como un elemento único, ya que es el resultado de una larga serie de transformaciones. Además, salvo en las construcciones de época industrial y posteriores, su diseño y edificación no se ha basado en gran medida en patrones estándares y elementos prefabricados. Por ello, en general, cada sistema o elemento constructivo constituye una singularidad y es propio de cada edificio.

El concepto de “estilo” vinculado tradicionalmente a la arquitectura histórica presupone el empleo de elementos y formas predefinidas que en ocasiones han sido recogidas en tratados históricos y otras han sido establecidos por la investigación. Sin embargo, esto no corresponde a la realidad, salvo en excepciones, y por lo tanto se debe evitar catalogar los elementos del edificio en base a su estilo sin considerar las singularidades propias de cada uno.

En resumen, la arquitectura histórica está fuertemente condicionada por su naturaleza evolutiva, ya que se configura mediante la superposición de sucesivos edificios, espacios y usos, es decir, es el resultado de una amplia secuencia de construcciones, destrucciones y transformaciones a lo largo de su historia.

Por otro lado, el conocimiento de la arquitectura histórica es fragmentario en la práctica totalidad de los casos, ya que tanto su configuración material y constructiva como su significación cultural, están siempre sujetos a los avances que sucesivas investigaciones e intervenciones puedan ofrecer.

1.5. Claves para la adecuación de BIM al patrimonio histórico construido

Para determinar la secuencia histórica de un edificio, definir sus estructuras, caracterizar los materiales y sus acabados y determinar las patologías por las que se ve afectado, es necesario activar un proceso de análisis interdisciplinar que integre, entre otros perfiles profesionales, geólogos, arquitectos, ingenieros, arqueólogos, restauradores e historiadores. La coordinación eficiente de estas actividades permite poner en común los procesos de análisis y los datos obtenidos al respecto, organizar los flujos de trabajo y mejorar la gestión de los entregables (Fig. 1.5).



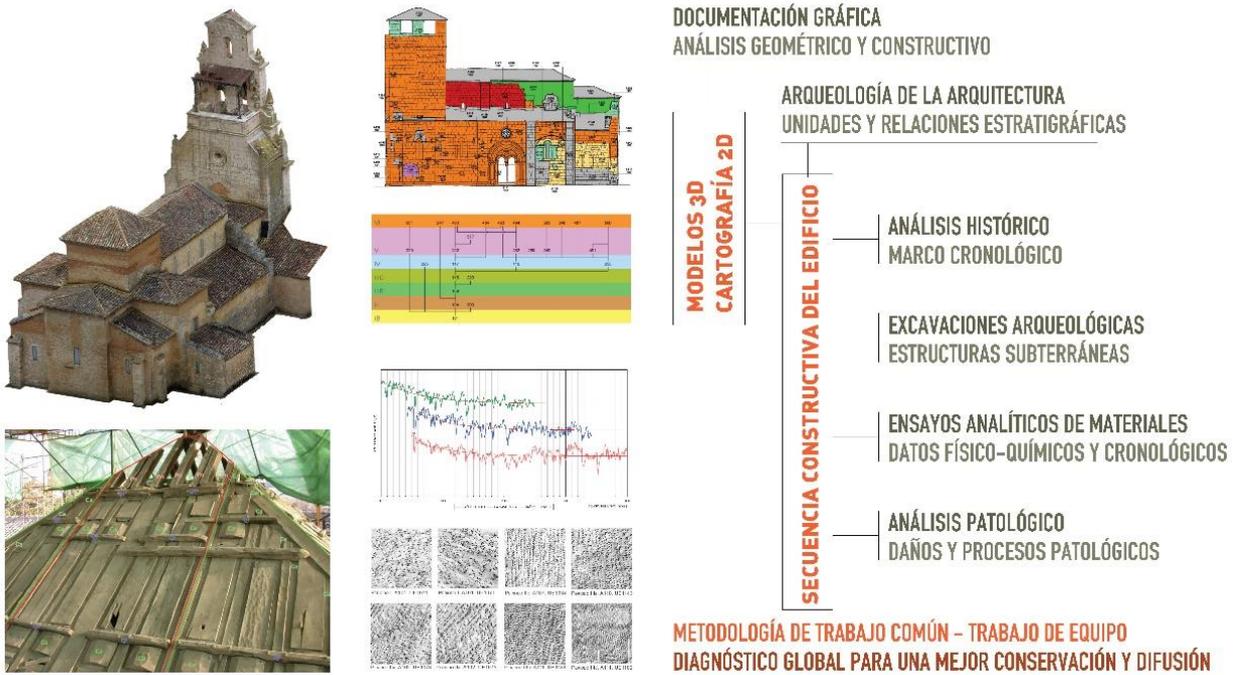


Fig. 1.5. Proceso de análisis interdisciplinar para el patrimonio histórico construido.

La metodología BIM aplicada en contextos de análisis, gestión e intervención sobre bienes muebles e inmuebles del Patrimonio Cultural ofrece mayor eficiencia en el ámbito de los proyectos, potenciando la interoperabilidad de la información digital en equipos interdisciplinarios de trabajo. Podemos destacar dos claves fundamentales para la correcta implementación de BIM en el ámbito del patrimonio cultural:

- Adecuación y organización del sistema de información de acuerdo a las características específicas de los bienes culturales y a los ámbitos de conocimiento que intervienen en su análisis, tutela y difusión.
- Adecuación del proceso de documentación gráfica y modelado de los bienes culturales de acuerdo a sus características formales y constructivas.



2. Creación del modelo BIM adaptado al edificio histórico

2.1. Sistema de información digital

Una de las principales características de la metodología BIM es la integración de un sistema de información digital de un edificio en un modelo 3D paramétrico, por lo que dicho modelo se convierte en el esqueleto vertebrador del sistema de información, siendo fundamental para su generación, consulta y actualización. La estrecha vinculación entre el modelo 3D y el sistema de información hace necesario que con anterioridad al proceso de modelado se definan con claridad los tipos de datos que se van a implementar posteriormente. De este modo, la estrategia de modelado variará dependiendo de si se van a incorporar datos constructivos, patológicos, estratigráficos, etc. En definitiva, la creación del modelo BIM debe ser un proceso integrado e interdisciplinar.

▪ Organización del sistema de información

Para lograr una herramienta eficiente, es preciso que el sistema de información sea acorde tanto al tipo de ámbitos de conocimiento del patrimonio cultural (historia, arqueología, arquitectura, arte, etc.) así como al tipo de trabajos que se desarrollan (investigación, protección, conservación y difusión.). Para ello, la base de datos debe estar preparada para implementar información de estos tipos. Pero, además, puesto que los objetos del patrimonio cultural se caracterizan fundamentalmente por su esencia evolutiva, es importante que también el propio sistema de información esté estructurado en base a la secuencia de transformaciones de dichos objetos. De este modo, toda la información quedará ordenada de un modo coherente con la propia naturaleza de los bienes culturales, siendo más sencilla, lógica y eficiente la gestión de dicha información.

▪ Formatos de trabajo

En la actualidad los formatos de información digital de uso generalizado en este sector son variados y deben ser definidos al comienzo del proyecto en el plan de trabajo:

- Informes: .doc, .pdf, .indd, .pages...
- Presupuestos: .pzh, .bc3, .xls, .dbd...
- Sensores: .csv, .xls, .dat...
- Captura digital: .rcs, .rcp, .xyz, .e57...
- Imágenes: .jpg, .raw, .tiff, .png, .bmp, .psd...
- Dibujos vectoriales: .dwg, .pdf, .ai...
- Modelado 3D: .fbx, .obj, .3ds, .skp, .rvt, .pln, .stl...
- Video: .mp4, .mov, .avi...
- Tablas: .xls, .csv...

Sin embargo, para garantizar la interoperabilidad del sistema de información digital unificado es necesario que la documentación se presente en entregables con formatos estándar o comunes, independientemente del origen de los datos.



En el sector de la construcción existe un formato de datos estandarizado y abierto que permite describir, intercambiar y compartir información de proyectos constructivos entre aplicaciones SW.

Este formato, llamado IFC (Industry Foundation Classes) fue creado por buildingSMART a finales de los años 90 y registrado como estándar internacional por la International Standardisation Organisation en 2013 como ISO 16739 "Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries". Posteriormente, este estándar ha sido adoptado como Euronorma y está vigente en España desde 2017 como UNE-EN ISO 16739:2016.

Otro formato abierto desarrollado por buildingSMART es BCF (Bim Colaboration File), que permite de forma sencilla comunicar incidencias y revisiones realizadas a ciertos elementos del modelo.

2.2. Modelado 3D

Antes de comenzar con el proceso de modelado de los bienes culturales es fundamental definir claramente los objetivos y los requisitos que debe cumplir el modelo, así como considerar los recursos disponibles para lograrlo.

▪ Objetivos de la representación gráfica

En términos generales, se pueden destacar dos tipos de objetivos que la representación gráfica del patrimonio cultural debe considerar. Por un lado, los de carácter general, vinculados a la documentación de los valores culturales del bien. Puesto que los bienes culturales son objetos de la cultura material, son en sí mismos documentos históricos que es necesario preservar a través de su documentación gráfica. El levantamiento y representación de los mismos pueden salvaguardar los valores formales, los valores materiales y constructivos e, incluso, los valores históricos de su secuencia evolutiva. Por todo ello, es necesario considerar desde un primer momento los valores culturales del bien y proceder con un método de levantamiento y documentación gráfica acorde a los mismos.

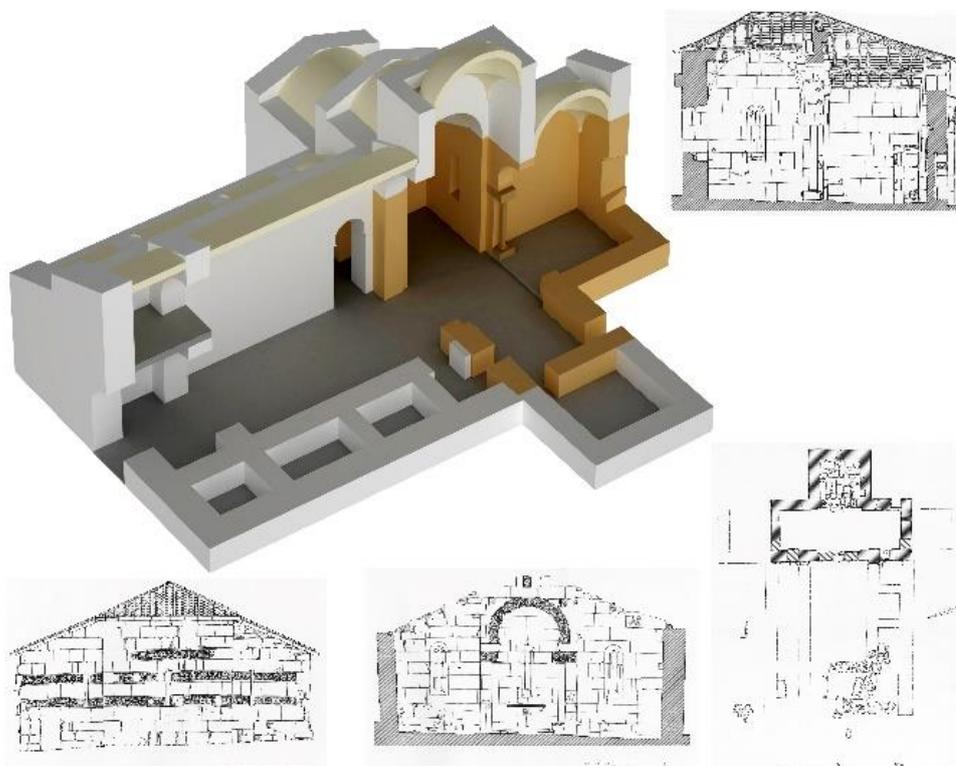


Fig. 2.1. Levantamiento 2D de los elementos conservados en la iglesia de Quintanilla de las Viñas (Burgos) y la propuesta de interpretación sobre su modelo 3D.



Por otro lado, existen objetivos específicos relacionados con los requisitos de los trabajos que vayan a desarrollarse a partir de la documentación gráfica generada. Cada uno de los profesionales que intervienen en las tareas de investigación, protección, planificación estratégica, conservación y mantenimiento o difusión del patrimonio cultural demanda de la representación gráfica una serie de condiciones que afectan a los elementos a representar, a su nivel de detalle, la precisión, el formato de la documentación, etc. Por ello, es necesario considerar el uso que se va a hacer de la documentación gráfica para seleccionar los métodos más adecuados (Fig. 2.1). En el caso del modelado BIM, será preciso estudiar también el tipo de información que se va a implementar en la base de datos, ya que repercutirá en el proceso de generación del modelo.

- Selección de técnicas de levantamiento y documentación gráfica

La selección de las técnicas de levantamiento y modelado tridimensional de los bienes culturales deberá por lo tanto atender a los objetivos anteriormente mencionados. Sin embargo, también es preciso tener en cuenta los recursos disponibles para asegurar la viabilidad de todo el proceso (Fig. 2.2).

La representación gráfica y los modelos de los bienes culturales deben ser coherentes con las singularidades formales y constructivas de los mismos, ajustando su nivel de definición al nivel de conocimiento disponible y al uso y finalidad al que estén destinados. Para ello, es necesario tener en cuenta que los bienes culturales poseen un nivel de estandarización y sistematización de sus elementos constructivos menor que los objetos contemporáneos. Además, presentan irregularidades y deformaciones que deben ser analizadas y consideradas de cara a la elaboración de la representación gráfica y el modelo BIM.



Fig. 2.2. Técnicas de levantamiento y modelado tridimensional de los bienes culturales: mediciones manuales, topografía, fotogrametría y escáner laser



La adquisición de datos para generar un modelo BIM suele combinar tomas de datos con diferente nivel de precisión:

- Documentación de menor nivel de precisión como fuentes documentales históricas, descripciones, referencias, croquis grabados y fotografías.
- Documentación de mayor nivel de precisión como planimetrías arquitectónicas realizadas con mediciones manuales y/o instrumentales. En este segundo caso, encontramos diversos sistemas de adquisición de datos digitales, como la fotogrametría terrestre o aérea y el escáner láser. Estos sistemas permiten obtener nubes de puntos de alta densidad con los que podemos definir la geometría y la textura del bien a documentar.

En este proceso de toma de decisiones, es importante distinguir los conceptos de precisión y detalle:

- **Precisión.** La precisión de un modelo tridimensional se refiere a la exactitud métrica, es decir, a la cercanía de la geometría del modelo con las dimensiones reales del objeto. Está relacionado con la captura o adquisición de la información métrica para el modelo. Pero no siempre será necesario conseguir una máxima precisión, pues un nivel de exactitud mayor incrementará el presupuesto y puede que no mejore la eficacia del trabajo. Así pues, una mayor precisión no tiene por qué ser necesariamente mejor; por ello, debe definirse desde el inicio el nivel de precisión adecuado para los objetivos planteados.
- **Nivel de detalle.** El nivel de detalle de la representación gráfica se refiere al nivel de conocimiento y a la cantidad de información incorporada a dicha documentación, pudiendo entonces incluirse consideraciones sobre su materialidad, sistemas constructivos o lesiones. Por ejemplo, un nivel básico de detalle puede incluir únicamente las aristas que definen la geometría principal del objeto, mientras que un nivel alto también incorporaría la representación de los distintos materiales constructivos, como los despieces de los muros. Una vez más, un alto nivel de detalle no siempre tiene que ser mejor, ya que al igual que en el caso anterior, suele incrementar el precio.

En cualquier caso, es necesario evaluar los objetivos iniciales para establecer los requerimientos de precisión y detalle del modelo tridimensional de un modo acorde a los recursos disponibles. Además, es importante subrayar que el levantamiento está íntimamente ligado con el análisis del bien representado.

▪ Estrategias para el modelado tridimensional

La definición de los objetivos y los requisitos de precisión y detalle permitirán establecer la estrategia y herramientas de modelado. En general, el proceso de modelado se podrá basar en dos tipos de datos: bidimensionales y tridimensionales.

- **Modelado a partir de proyecciones bidimensionales.** Los datos bidimensionales pueden provenir de plantas, secciones y alzados del bien cultural. Es conveniente que dicha documentación esté representada a una escala conocida y geoméricamente relacionada entre sí. Dado que se trata de proyecciones planas en cada una de las direcciones principales del espacio, para abordar el modelado será conveniente colocarlas en su posición espacial correspondiente. A partir de aquí, mediante operaciones de extrusión o similares se podrá construir un modelo que generalmente tenderá a simplificar en mayor o menor medida las irregularidades y deformaciones del bien cultural.



- Modelado a partir de datos tridimensionales. Los datos tridimensionales son nubes de puntos o mallas obtenidas mediante dispositivos topográficos, técnicas de fotogrametría o escáner láser. Una vez más, es fundamental asegurar la coherencia métrica de todos los datos, unificándose en un único sistema de referencia. A partir de aquí, el modelado puede desarrollarse mediante distintas estrategias, apoyándose en todos los casos en los puntos de la nube o en los vértices de la malla. En función de los objetivos planteados, se podrá optar por un modelado más o menos ajustado a la forma real del objeto, incorporando sus irregularidades y deformaciones o simplificándolas. Del mismo modo, habrá que decidir el nivel de detalle, el empleo de mallas o de elementos paramétricos, así como el uso de geometrías superficiales o de elementos masivos.

Es conveniente destacar que en la actualidad no se han desarrollado herramientas eficaces de división y modelado automático a partir de nubes de puntos o mallas. Por ello el proceso de modelado no deja de tener una componente subjetiva que demanda el conocimiento del objeto por parte del modelador.

2.3. Niveles de división y de desarrollo del modelo BIM

La combinación de los datos de partida, la técnica de modelado empleada, y el grado de precisión y detalle alcanzados ofrece como resultado modelos con un nivel de desarrollo específico (LOD). En el caso de los modelos BIM de edificaciones actuales, se definen los siguientes (AIA, Instituto Americano de Arquitectos, E202-2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit):

- LOD 100: Modelo conceptual para definir todo el edificio en conjunto incluyendo volúmenes y áreas básicas.
- LOD 200: Modelo en desarrollo de diseño, tamaños, formas, ubicación, etc.
- LOD 300: Modelo de pre-construcción. El nivel de detalle aumenta para poder llegar a definir costes.
- LOD 400: Instalaciones y elementos de construcción precisos, incluyendo la geometría y los datos para subcontratar.
- LOD 500: Modelo As Built, detallado y definido para su mantenimiento y conservación preventiva necesaria.

Es importante no confundir el nivel de detalle de la representación, que se refiere a la cantidad de información gráfica incorporada a dicha documentación, con el nivel desarrollo final que puede alcanzar el modelo. Los distintos niveles de desarrollo están clasificados en función de la información que contienen y son un aspecto a definir al comienzo del proceso de modelado.

▪ Propuesta de niveles de desarrollo (LOD) para el patrimonio histórico construido

La adaptación de la metodología BIM a su uso en el patrimonio histórico construido requiere de una revisión del concepto de niveles de desarrollo (LOD) en función de las características singulares de estas construcciones, las cuales se han mencionado anteriormente. Además, hay que tener en cuenta que mientras que el BIM de obra nueva se refiere generalmente a un objeto que va a ser construido, el BIM aplicado al patrimonio construido ha de manejar elementos ya existentes en los que puede (o no) llevarse a cabo una intervención.

Los niveles de desarrollo de un modelo BIM se estructuran en base al nivel de subdivisión del mismo. En paralelo, se pueden establecer categorías referentes al grado de simplificación geométrica (es decir, la desviación respecto de la geometría real del objeto) asumido durante el proceso de modelado.



Por ello, la aplicación del BIM al patrimonio histórico construido requiere el empleo de una conveniente estrategia de subdivisión del modelo en las partes necesarias para posteriormente asociar los distintos tipos de datos del sistema de información que esté planificado implementar. Los principales niveles de división del modelo se rigen por dos criterios: la configuración constructiva y su secuencia de transformaciones (su naturaleza evolutiva, resultado de su análisis estratigráfico). Los dos criterios son complementarios, y la división se aplica siempre que así lo indique uno de los dos, si bien en muchas ocasiones la división constructiva es a su vez una división generada a lo largo de su secuencia de transformaciones y viceversa. De este modo, se establecen cuatro niveles de desarrollo:

- LOD 100: Modelo sin subdivisión alguna (elemento unitario). Generalmente se trata de mallas directamente obtenidas de levantamientos con escáner láser o fotogrametría. Corresponde al mínimo nivel de división, siendo el que posee menos ventajas para la gestión de la información, aunque es el que requiere una menor cantidad de recursos para su creación.
- LOD 200: Modelo dividido según sus cuerpos constructivos fundamentales (las principales partes en las que se divide el edificio, por ejemplo, sus bloques, alas, pandas, torres, etc.) y su secuencia de transformaciones genérica (fases, etapas, periodos históricos).
- LOD 300: Modelo dividido según sus elementos constructivos (por ejemplo, cimentaciones, muros, estribos, vanos, bóvedas, tejados, etc.) y su secuencia de transformaciones entre los grados genéricos (fases, etapas, periodos) y los de mayor detalle (actividades y unidades estratigráficas).
- LOD 400 (Fig. 2.3): Modelo dividido según sus materiales constructivos (por ejemplo, sillares, mampuestos, carpinterías, losas, etc.) y su secuencia de transformaciones entre los grados genéricos (fases, etapas, periodos) y los de mayor detalle (actividades y unidades estratigráficas).

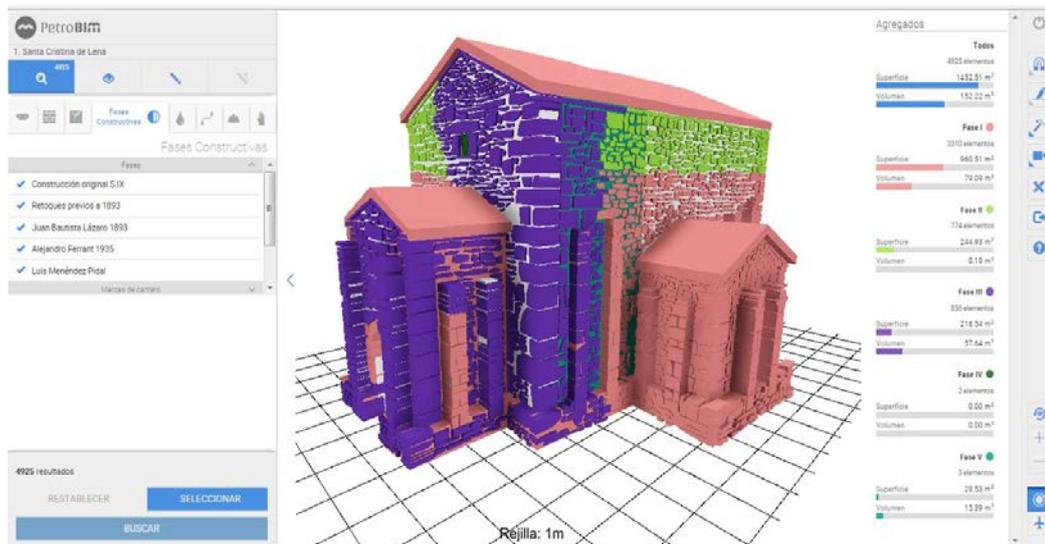


Fig. 2.3. Modelo LOD 400 gestionado sobre la plataforma PetroBIM de la iglesia de Santa Cristina de Lena (Asturias). Vista con búsqueda con Fases Históricas

- LOD 500: Modelo dividido según sus materiales constructivos (por ejemplo, sillares, mampuestos, carpinterías, losas, etc.) y su secuencia de transformaciones con el grado de mayor detalle (unidades estratigráficas). Corresponde al máximo nivel de división, siendo el que ofrece mayores ventajas para la gestión de la información. Sin embargo, es el que requiere una mayor cantidad de recursos para su creación.

En paralelo a esta división de niveles, es necesario considerar el nivel de conocimiento existente sobre el bien cultural. Así, esta clasificación debería complementarse con el nivel de conocimiento patrimonial sobre el bien cultural.

2.4. Ventajas del empleo de BIM

Un sistema de información unificado

El uso de la metodología BIM aporta ventajas tanto en el proceso de análisis como en el de intervención, conservación y gestión del bien cultural. La unificación de toda la información del edificio en un único modelo favorece un registro y un acceso más ágil y eficiente a los datos, del mismo modo que evita la pérdida o duplicidad innecesaria de los mismos. En definitiva, permite estructurar de un modo coherente y sencillo las grandes cantidades de datos que se manejan en el ciclo completo de vida del edificio y que en la actualidad no siempre están convenientemente organizados.

- **Interoperabilidad en tiempo real de todos los usuarios**

Por otro lado, se posibilita una interoperabilidad en tiempo real de todos los agentes involucrados en el proceso de trabajo, ya que generalmente se trata de modelos y sistemas de información implementados en plataformas online accesibles por distintos tipos de usuarios, con distintos niveles de accesibilidad en función de su perfil. De este modo, es posible desarrollar un trabajo colaborativo real y eficiente, con flujos constantes de información entre los profesionales participantes en el mismo. La información puede ser por lo tanto implementada, consultada, compartida y actualizada en tiempo real por los usuarios, potenciándose la interdisciplinariedad profesional entre los miembros de los equipos de trabajo, entendida como la búsqueda de soluciones a preguntas y problemas comunes desde la aportación complementaria del ámbito de especialización de cada uno.

- **Optimización de los flujos de trabajo**

A su vez, la interoperabilidad proporciona una mejora continua en los procesos de trabajo, ya que se pueden detectar interferencias con mayor facilidad, se evitan duplicidades de tareas y, en definitiva, se optimizan los recursos para la consecución de los objetivos.

- **Mayor precisión en las mediciones y presupuestos**

Por otro lado, el empleo de la metodología BIM permite realizar mediciones y obtener presupuestos con una mayor rapidez y precisión. Puesto que la propia creación del modelo BIM implica la definición completa y precisa de todos los elementos del modelo, se evitan partidas sin definir o no contempladas en los presupuestos. Esto reduce la aparición de imprevistos en la intervención o en la realización de tareas de conservación planificadas y los consiguientes precios contradictorios, optimizándose los recursos económicos para la ejecución de las mismas.

- **Potenciación de la visualización y difusión**

Finalmente, dado que el uso de BIM generalmente conlleva el empleo de modelos tridimensionales de los edificios, se potencia en gran medida su visualización y difusión, especialmente hacia públicos no especializados. Con BIM se amplían las posibilidades de comprensión de los modelos digitales mediante representaciones 3D, imágenes y renderizaciones y entornos de Realidad Virtual y Realidad Aumentada.



2.5. Aspectos a considerar para la licitación BIM

Los informes del Observatorio de licitación BIM (es.BIM, 2018) señalan que “La inclusión de cláusulas BIM en los pliegos no es un fin en sí mismo” sin embargo recogen que “cuanto mayor sea la calidad del pliego mayores serán las posibilidades de obtener los objetivos de la licitación”. Por ello, los pliegos de las licitaciones BIM deben definir con precisión los objetivos, los usos y los requisitos que demandan.

▪ Determinación de los objetivos y los usos de BIM

El primer aspecto a definir son los objetivos para los que se quiere implementar BIM, los cuales están directamente relacionados con los usos a los que se va a destinar. Los usos BIM se definen según los modos de aplicación de la metodología BIM durante el ciclo de vida del edificio para conseguir determinados objetivos, los cuales han de ser previamente definidos. En este sentido, los usos más comunes son los relativos a:

- Coordinación de las distintas disciplinas profesionales.
- Visualización del modelo 3D con su información asociada.
- Gestión de la información digital.
- Obtención de mediciones y presupuestos.
- Simulación y análisis de las distintas hipótesis constructivas.
- Gestión de la explotación y el mantenimiento.

▪ Determinación de los requisitos

En función de los objetivos y los usos de BIM, se podrán establecer los requisitos que se van a solicitar en los pliegos. En concreto, el informe de la Comisión BIM señala los siguientes como posibles aspectos para ser requeridos en los pliegos de licitación:

- Niveles de información: se trata de la referencia relacionada con la cantidad mínima y el tipo de información que debe contener cada elemento del modelo.
- Entregables: son los productos que se elaboran y entregan al cliente, los cuales deben estar definidos con claridad para que puedan ser verificados y evaluados.
- Uso de formatos abiertos y estándares BIM: permite el desarrollo de un trabajo colaborativo abierto y transparente, independientemente de la aplicación informática que cada uno de los profesionales intervinientes emplee. Además, el uso de estándares BIM es fundamental para asegurar la compatibilidad de los distintos tipos de información a lo largo del ciclo de vida del bien cultural.
- Requisitos de colaboración: dado que la intervención en el Patrimonio Cultural debe abordarse desde una perspectiva interdisciplinar, la colaboración entre los distintos profesionales apoyada en la metodología BIM es un factor importante para el éxito de las actuaciones.
- Estructuración de la información: la organización del sistema de información es otro aspecto clave para su adecuada gestión y debe realizarse de un modo coherente con la naturaleza evolutiva y las especificidades materiales y estructurales del Patrimonio Cultural.



3. Objetivos del BIM en el sector del Patrimonio Cultural

Intervenir en el patrimonio cultural tiene como principal premisa contar con un riguroso conocimiento del bien antes de efectuar cualquier toma de decisiones. De este modo, todo proceso ha de comenzar con una investigación que permita alcanzar un nivel de conocimiento adecuado, elaborar un diagnóstico certero y, a partir de aquí, proponer las intervenciones necesarias.

El estado actual del conocimiento sobre el patrimonio histórico construido es el resultado de un largo proceso de investigación que por lo general presenta un carácter multidisciplinar resultado de inventarios, evaluaciones y análisis formulados por diferentes perfiles profesionales. Sin embargo, estos estudios presentan un notable desequilibrio tanto cuantitativo como cualitativo. Esta circunstancia, entre otras razones, la propicia un ambiente de trabajo en el que no se promueven de forma efectiva actividades interdisciplinares. Entre otras razones, por la necesaria especialización de los profesionales que intervienen en estos equipos de trabajo y por los modelos de contratación que promueven actuaciones independientes. Sin embargo, en el sector no hay duda de que debemos avanzar hacia modelos interdisciplinares poniendo en marcha programas de investigación que permitan analizar el bien conjuntamente desde diferentes perfiles profesionales, con preguntas comunes, de forma complementaria y evitando los compartimentos estancos.

En este sentido, el entorno BIM ofrece tanto una metodología sistematizada como herramientas que facilitan el registro y el desarrollo coherente, ordenado y eficaz de todos los trabajos asociados al conocimiento, conservación y difusión del patrimonio cultural. Sus principales valores radican en ofrecer un sistema de información unificado, fácilmente accesible y actualizable por todos los profesionales e investigadores. Una vez recabado el conocimiento necesario con una participación activa de todos los agentes implicados se podrán llevar a cabo tomas de decisiones consensuadas. Trabajando en este sentido alcanzaremos cuotas de efectividad mayores para su conservación y para la redacción de cualquier proyecto de intervención en el edificio histórico.

La metodología BIM ayuda a sistematizar el desarrollo de investigaciones, tareas de conservación preventiva y proyectos de intervención en el patrimonio construido, con un programa de ejecución y entregables preestablecido. Para ello, es necesario emplear plataformas de comunicación centralizadas que permitan implementar un sistema de información digital sobre modelos 3D paramétricos. De este modo, los entregables se prescriben, ordenan y presentan con características comunes, siendo además revisables. Se pretende así evitar lagunas de conocimiento, la repetición de actividades, la existencia de contradicciones futuras y mejorar los tiempos de actuación. De este modo se persigue reducir considerablemente la necesidad de reformados y, por ello, de sobrecostos. También se podrá realizar un registro y un análisis entre los proyectos de intervención y las memorias de la intervención finalmente ejecutada y su justificación e idoneidad.

Contemplando esta propuesta e introduciendo los principios de la metodología BIM en el programa de actuación en el patrimonio cultural, podemos estructurar los trabajos en distintos tipos, los cuales se detallan a continuación. El orden de las acciones no tiene por qué seguir el aquí mostrado; es cierto que inicialmente se deben realizar los trabajos de investigación y diagnóstico para, a partir de aquí, decidir cuáles serán los siguientes trabajos a desarrollarse y en qué orden (intervención, conservación preventiva, difusión, etc.).



3.1. Investigación y diagnóstico

▪ Fase 1: Definición de objetivos y planificación

La identificación de necesidades, la definición de objetivos, la consideración de los recursos y la correspondiente planificación preliminar de los trabajos a realizar es un paso previo fundamental a cualquier intervención en el patrimonio cultural. Es en este momento inicial cuando se tomarán las decisiones relativas a las posteriores acciones a acometer, que no siempre tienen que conllevar una intervención arquitectónica, pudiendo dar paso también a la realización de protocolos de mantenimiento, acciones de conservación preventiva, procedimientos de seguimiento de condiciones ambientales, investigaciones más profundas, o planes de difusión y puesta en valor del edificio, entre otras acciones.

Para implementar el uso del BIM en este ámbito es necesario establecer un protocolo de actuación que nos permita coordinar las distintas fases de trabajo para alcanzar los objetivos planteados. Por ello, la definición inicial de los objetivos determinará el alcance de las intervenciones y, en relación con el modelo BIM, su nivel de desarrollo (LOD), su precisión, su nivel de detalle y el tipo de información que se ha de implementar. En este sentido, la herramienta BIM que se emplee debería estar dotada de una estructura que no impida la posibilidad de una mayor complejidad y complementación futura.

La confección de una matriz de trabajo en la que se establezcan las fases y tareas correspondientes con el alcance de cada una de ellas, los agentes intervinientes y un calendario de desarrollo ayudará a asignar a cada tipo de tarea un documento de resultado final (entregable) y unos requisitos BIM (tipos de archivos de trabajo, archivos colaborativos y archivos entregables, estructura del proyecto HBIM, planimetría mínima y escalas establecidas), permitiendo de este modo establecer la coordinación entre cada uno de los agentes según la fase en que se encuentren. Este documento se denomina Plan de Ejecución BIM (PEB).

▪ Fase 2: Análisis interdisciplinar

Supone la puesta al día del estado del conocimiento del edificio histórico desde las disciplinas necesarias. Este conocimiento previo deberá ser integrado en la plataforma de comunicación centralizada para su control y correcta difusión entre los diferentes miembros del equipo que se establezca. Cualquier labor deberá comenzar desde la revisión crítica de los análisis precedentes. En esta fase se deberán coordinar actividades entre ellas complementarias, como pueden ser la documentación gráfica del bien cultural, su análisis evolutivo, estructural, material, patológico, del medio circundante, de su uso, etc.

Es importante estructurar el proyecto en el navegador de la plataforma BIM teniendo en cuenta los agentes intervinientes en el equipo multidisciplinar, pues la documentación requerida variará en función de la especialidad: arqueología de la arquitectura, evolución histórica, análisis de materiales y sistemas de construcción, patologías, restauración de revestimientos, etc.

▪ Fase 3: Generación del modelo BIM

El modelado BIM precisa de tres actividades previas para poder ser llevado a cabo del modo más eficaz posible. En primer lugar, precisa de unos objetivos de conocimiento y actuación (conservación preventiva, restauración, intervención arquitectónica...) preestablecidos que permitan definir su nivel de desarrollo (LOD) y el tipo de información a implementar (fase 1). En segundo lugar, ha de realizarse un levantamiento y una documentación gráfica adecuada a dichos objetivos, para lo que se usarán las técnicas más convenientes según el caso (fase 2). Y, finalmente, es necesario contar con un conocimiento lo más completo y riguroso del edificio histórico para llevar a cabo tanto la división del modelo BIM como la implementación de la información asociada (fase 2).



Con estos elementos, siempre basados en unos objetivos y planificación claros, se creará el modelo BIM y su sistema de información asociado, preferentemente en plataformas online que permitan una accesibilidad en tiempo real y un trabajo colaborativo.

Hay que tener presente desde el primer momento que el modelo BIM será el contenedor de toda la información asociada al edificio histórico. Es por ello muy importante estructurarlo bien e identificar todos los elementos de una manera lógica para generar una base datos actualizada y flexible, es decir, un inventario fiel del patrimonio construido y de todos los bienes muebles e inmuebles que contiene.

▪ Fase 4: Diagnóstico

Una vez alcanzado el adecuado conocimiento del bien cultural e implementada la información en el modelo BIM, se abordará el diagnóstico del mismo. Puesto que éste ha de realizarse desde un punto de vista transversal a todas las disciplinas que intervienen, ha de ser un proceso interdisciplinar, donde desde cada perspectiva se analicen unas mismas cuestiones comunes para obtener respuestas consensuadas a los problemas del bien cultural.

El empleo de herramientas BIM supone en este caso una gran ventaja, ya que la información no sólo está disponible en tiempo real para todos los agentes, sino que se posibilita el análisis cruzado de distintos tipos de información. Por ello, el trabajo interdisciplinar real y colaborativo se facilita, permitiendo la obtención de resultados más rigurosos.

3.2. Propuestas de intervención

El desarrollo de las propuestas de intervención en bienes culturales, al igual que sucede en las obras de nueva planta, puede enmarcarse en distintos niveles, como son el anteproyecto, el proyecto básico o el proyecto de ejecución. La planificación inicial (fase 1) habrá definido el alcance y contenidos de cada uno de ellos. Los miembros del equipo técnico redactor desarrollarán un proceso interdisciplinar aunando diferentes ópticas de conocimiento que permitan decidir las soluciones más adecuadas en cada caso.

El empleo de BIM, como ya se ha mostrado en casos anteriores, facilita la colaboración interdisciplinar de los distintos agentes a través de un sistema de información unificado, ordenado y accesible. Pero, además, permite simular distintas propuestas de intervención más allá de su configuración geométrica, obteniéndose con facilidad sus mediciones, presupuestos y otras repercusiones para el bien cultural. De este modo, el análisis de alternativas y la toma de decisiones se pueden realizar con mayor fundamento. Finalmente, puesto que el modelado BIM requiere un alto nivel de definición de cada uno de sus elementos, el proyecto de ejecución resultará altamente definido, lo que repercutirá en un mejor desarrollo de la posterior ejecución de la obra.

3.3. Ejecución de obras de intervención

Considerando que la mayor parte de la restauración sobre el Patrimonio en España tiene un promotor público o se rige por las normas establecidas para los Contratos del Sector Público, aunque el promotor sea privado, parece conveniente establecer el comienzo de la ejecución en el proceso de licitación, una vez concluida la redacción del proyecto de intervención. Y según esta propuesta, considerar como final la recepción de los trabajos, incluyendo la entrega de la memoria de la intervención realizada (distinta al proyecto), un plan de uso y mantenimiento y su incorporación al registro de documentación del edificio.



Podemos considerar varias fases dentro de la ejecución de trabajos de actuación, las cuales se detallan a continuación.

- **Fase 0: Análisis, revisión y uso de la información del proyecto**

Esta fase se desarrolla principalmente durante el proceso de licitación, entendiéndose que comienza en el momento en que el promotor decide acometer un proyecto. Cuando tratamos de bienes culturales, dependiendo del estado de conservación y de la evolución más reciente, el elemento ha podido sufrir variaciones que obliguen a replantear el alcance de la intervención. Además, suele suceder que dicho proyecto ha sido redactado con mucha antelación, a menudo varios años, respecto al momento en que se decide acometer su ejecución. Por todo ello es responsabilidad del promotor realizar o encargar la revisión y actualización del mismo antes de proceder a su licitación.

Al emplearse la metodología BIM, esta revisión se facilita en gran medida, ya que la información está centralizada, ordenada y es accesible en cualquier momento, independientemente de lo que haya sucedido en el tiempo desde que se redactó el proyecto, evitándose la pérdida de datos. Todas las modificaciones que surjan podrán ser implementadas en el modelo BIM mediante la actualización de su geometría y/o sistema de información.

- **Fase 1: Actualización de la información del proyecto durante la ejecución de la obra**

Se trata de las sucesivas actualizaciones del modelo BIM durante la fase de ejecución, en la que los agentes responsables son los miembros del equipo técnico redactor. De los continuos descubrimientos y de la multitud de decisiones que se han de tomar durante la ejecución de los trabajos de intervención se debe tomar buena nota de forma sistemática, de cara a incorporar las consecuentes variaciones o matizaciones sobre el proyecto.

Estas actualizaciones pueden derivar tanto por necesidades administrativas como técnicas, pero en la mayoría de los casos bastará con documentar la trazabilidad de las variaciones y de la toma de decisiones por parte del equipo técnico redactor, con el objeto de su incorporación al modelo BIM. De este modo, se consigue llevar un registro actualizado de todas las modificaciones de un modo ordenado y sistemático, lo cual debe ser responsabilidad del equipo técnico redactor.

- **Fase 2: Planificación y seguimiento de la intervención**

Esta tarea corresponde al Contratista, que antes de comenzar la ejecución debe hacer una previsión de los trabajos a realizar, de sus rendimientos y de sus costes. La incorporación de la dimensión temporal en BIM se adapta perfectamente para planificar la ejecución y realizar los correspondientes seguimientos, aunque debe complementarse con el seguimiento mensual de los costes (certificación). La metodología BIM permite mejorar la gestión de la construcción, con una simulación virtual vinculada a la programación de partidas de obras con costes.

- **Fase 3: Identificación y trazabilidad de los controles de calidad, ensayos e informes complementarios**

Este conjunto de tareas deberá ser desarrollada por todos los agentes transversales que, en función de las necesidades de los trabajos, deban intervenir durante la ejecución. Algunas, como la realización de fotografías o termografías que documenten el desarrollo de los trabajos, pueden ser realizadas e incorporadas al modelo BIM por especialistas fotógrafos o por el propio técnico restaurador. Otras, deberán ser realizadas e incorporadas al modelo BIM por especialistas según la materia (analíticas de materiales, fotogrametría, topografía, instrumentación y medida de parámetros físicos y ambientales, etc.). Los momentos concretos de la incorporación de los datos al modelo BIM deberían corresponderse a las actualizaciones del mismo.



Hay que tener presente desde el primer momento que el modelo BIM será el contenedor de toda la información asociada al edificio histórico. Es por ello muy importante estructurarlo bien e identificar todos los elementos de una manera lógica para generar una base datos actualizada y flexible.

- **Fase 4: Generación del modelo "As Built"**

Se trata de la actualización del modelo BIM, donde se especifica el estado final tras la intervención. En ella deben colaborar todos los agentes implicados, incorporando toda la información desarrollada durante la intervención. Es conveniente que exista una figura que coordine esta actualización del modelo (lo más lógico sería que fuese el equipo técnico redactor, aunque también podría desempeñar esta función el promotor).

Además de perseguir la finalidad documental de la intervención, este modelo "As Built" debería incorporar una guía de conservación y mantenimiento del bien restaurado, algo parecido a lo que supone el Libro del Edificio en el caso de la arquitectura de nueva planta, un compendio de los aspectos descubiertos en las fases anteriores que sean relevantes de cara a la conservación/uso de la obra. Esta guía podrá servir de base para desarrollar el Plan de Mantenimiento.

Sin duda, el empleo de la metodología y herramientas BIM supone una gran ayuda para la generación del modelo "As Built", ya que al haberse ido recogiendo las sucesivas actualizaciones, la obtención del mismo es más ordenada y menos costosa.

3.4. Conservación preventiva

El texto del Plan Nacional de Conservación Preventiva (Comisión del Plan Nacional de Conservación Preventiva, 2011) establece que "la conservación preventiva es una estrategia de conservación del patrimonio cultural que propone un método de trabajo sistemático para identificar, evaluar, detectar y controlar los riesgos de deterioro de los objetos, colecciones, monumentos y por extensión cualquier bien cultural, con el fin de eliminar o minimizar dichos riesgos, actuando sobre el origen de los problemas, que generalmente se encuentran en los factores externos a los propios bienes culturales". Esta propuesta guía el denominado Plan de Conservación Preventiva (PCP) de un bien cultural o conjunto de bienes, método de trabajo se basa en el siguiente esquema:

- Documentación.
- Análisis de Riesgos.
- Diseño e implantación de procedimientos y protocolos.
- Verificación.

Según el esquema metodológico anterior, la utilización de una herramienta BIM puede representar un gran soporte interactivo en cada una de las fases del PCP, incluyendo las siguientes tareas:

- Recopilación e incorporación de datos, imágenes y esquemas sobre el inmueble, su historia material, sus características materiales y su estado de conservación; incorporación de datos, gráficos y esquemas sobre su entorno; y recopilación de datos sobre su uso y gestión.
- Incorporación de datos y esquemas sobre la identificación y evaluación de los riesgos de deterioro.
- Programación de acciones para la eliminación de riesgos.
- Programación de protocolos de seguimiento y control de los riesgos no eliminados.
- Programación y seguimiento de protocolos de mantenimiento del inmueble y sus instalaciones.
- Planificación de acciones en situaciones de emergencia.
- Verificación de la realización y de la idoneidad de los protocolos.



Algunos de los entregables relacionados con las acciones de Conservación Preventiva pueden ser:

- Informes de los protocolos de seguimiento y control de los riesgos de deterioro y de los protocolos de mantenimiento que pueden ser realizados por empresas externas.
- Informes de estado de conservación mediante elaboración de bases de datos abiertas que permitan introducir datos, imágenes y esquemas y elaborar diagnósticos.
- Registro de mediciones: humedad relativa, humedad de condensación, temperatura, iluminación, etc. Informes formateados de históricos de datos, gráficos y esquemas.
- Registro incidencias y daños mediante levantamiento de actas y registro fotográfico vinculados a los protocolos de seguimiento y control y de mantenimiento. Vinculación automática con los responsables de evaluación de las incidencias y la toma de decisiones.
- Archivo de documentación: movimientos de fondos, informes de restauración, informes de conservación preventiva, proyectos, seguros, transporte, investigaciones, etc.
- Registro fotográfico de los objetos, especialmente de aquellos expuestos a daños o pérdidas irreversibles vinculados a los protocolos de seguimiento y control de riesgos de deterioro y protocolos de mantenimiento.

3.5. Difusión cultural

Los contenidos BIM y su representación 3D son indudablemente un valor enriquecedor del marco actual de la difusión.

- **Ventajas del empleo del BIM en la difusión del patrimonio cultural**

Tradicionalmente se ha enseñado el patrimonio cultural con una visión artística, estilística o monumental, catalogando los distintos bienes en periodos históricos o estilos artísticos concretos y únicos, respondiendo esta aproximación a lo que se conoce como el "objeto modelo". Sin embargo, la realidad del patrimonio cultural es bien distinta, pues es el resultado de una serie de transformaciones que acontecen a lo largo de su historia, modificando el bien cultural desde su momento de creación hasta nuestros días. Esta aproximación al "objeto real" es mucho más rigurosa, pero también más didáctica, ya que muestra la transformación a través de los distintos periodos y las distintas sociedades que han usado y modificado el bien cultural. Por ello, es preciso que la difusión del patrimonio cultural se aborde desde su secuencia de transformaciones, haciendo de este modo posible entender las distintas sociedades y culturas que nos precedieron y que configuran los valores identitarios de nuestra sociedad actual. El empleo de modelos BIM articulados en base a esta secuencia de transformaciones del bien cultural permite abordar una difusión más enriquecedora de sus valores culturales.

Las herramientas BIM unifican la información gráfica y documental en base a un modelo 3D, lo cual supone una gran ventaja, ya que actualmente la información se encuentra dispersa, está incompleta, tiene distintos formatos y se requiere mucho tiempo para recopilar y sintetizar la información para el desarrollo de materiales divulgativos. Además, existen visores 3D-4D de sencillo manejo, que facilita la comprensión de los valores culturales del bien por parte del usuario, tanto durante la visita presencial como de forma remota. El empleo de modelos 3D facilita el entendimiento del objeto por parte de usuarios no especializados, mejorando y haciendo más atractiva la experiencia del conocimiento. Finalmente, es posible reutilizar y adecuar el BIM para la difusión, lo cual evita la necesidad de realizar un modelo 3D específicamente para la divulgación.



▪ Aplicación de modelos BIM a la difusión del patrimonio cultural

Son varias las posibilidades de aplicación del modelo BIM en la difusión de los valores culturales del patrimonio:

- Visitas virtuales y videos promocionales de patrimonio inaccesible, desaparecido o lejano.
- Apoyo para la visita presencial a los bienes culturales, accesible mediante dispositivos móviles (infografías, paneles, mapas turísticos, audioguía).
- Divulgación del proceso de intervención en el bien cultural.
- Divulgación de la degradación de los elementos frágiles para sensibilizar a los gestores de la necesidad de desarrollar una conservación preventiva y de controlar y gestionar las visitas masivas, así como al visitante de cumplir las normas de conducta durante la visita.

Para ello, a partir de los modelos BIM se pueden obtener los siguientes materiales de apoyo a la difusión:

- Modelo 3D del estado actual del bien patrimonial.
- Sección del sistema constructivo y simulación 4D de la técnica constructiva.
- Simulación 4D de la evolución histórica del edificio y el entorno. (Realidad Virtual y Aumentada).
- Divulgación de los valores singulares (decorativos, funcionales, arquitectónicos...).
- Catálogo virtual de los bienes muebles.
- Divulgación de los riesgos y amenazas y las medidas de conservación apoyadas en modelos 3D y realidad virtual y aumentada.

Mientras que para el uso técnico y profesional el modelo BIM puede incorporar en detalle el sistema constructivo, su secuencia de transformaciones y el registro de las intervenciones ejecutadas sobre un modelo de geometría y texturas reales, para la divulgación es necesario adaptar y simplificar dicho modelo. Así, tanto su geometría, su textura o su nivel de detalle se simplificarán, del mismo modo que se reducirá y adaptará la información asociada, siempre teniendo en cuenta los objetivos de la comunicación y los mensajes que se vayan a ofrecer. Se debe controlar el peso de los archivos resultantes para que no den problemas en su visualización online.

Con el objetivo de que este tipo de presentaciones virtuales se lleven a cabo como un trabajo intelectual técnica y metodológicamente riguroso se deben tomar en cuenta guías como *The London Charter* (2009) donde se han definido principios para el uso de los métodos de visualización computarizada en relación con la integridad intelectual, fiabilidad, documentación, sostenibilidad y acceso del patrimonio cultural. De cara a su mejor implantación en el campo específico del patrimonio arqueológico también se deben considerar en este sentido los Principios de Sevilla (2011).



4. Casos de estudio

4.1. Capilla del Sagrado Corazón de la Catedral de Palma, Mallorca

La Catedral, gran edificio de planta basilical construido de sillería, comienza su construcción en el siglo XIII. A sus naves laterales se abren siete capillas de planta cuadrada, de las cuales la segunda del lado meridional corresponde con la actualmente denominada del Sagrado Corazón. Este espacio ha sido el elegido para poner en marcha un programa de actuación BIM en la catedral impulsado por el Cabildo Catedralicio y el estudio de Arquitectos Guillermo Reynés.

4.1.1. Objetivos del uso de BIM

Se trata de un proyecto en el que principalmente se pretende realizar una:

- Intervención directa de forma aislada sobre la arquitectura de la Capilla del Sagrado Corazón.
- Intervención directa de forma aislada sobre el retablo y patrimonio mueble del interior de la Capilla.
- La incorporación de documentación patológica y de intervención generada.
- Y definir un Plan de mantenimiento correctivo y preventivo.

4.1.2. Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto se ha realizado sobre la plataforma PetroBIM (Fig. 4.1), un recurso tecnológico que ha permitido:

- Poder trabajar con un archivo único para gestionar el modelo y los datos, incorporando la información existente del proyecto hasta la fecha y la obtenida en los diferentes trabajos posteriores.
- Generar consultas vinculadas del modelo y los datos con acceso según nivel de intervención y permisos por gremios.
- Incorporar el proceso metodológico BIM en el Plan Director de La Catedral de Palma de Mallorca en su totalidad.
- Y gestionar y planificar la difusión de las intervenciones con un programa "Abierto por obras" de 4 años de duración.



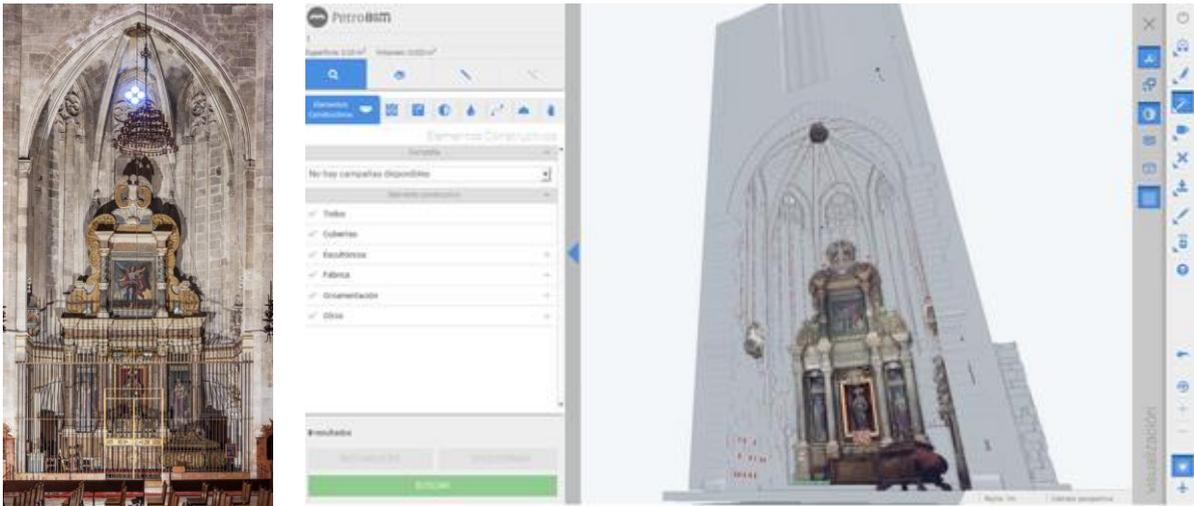


Fig. 4.1. Imagen y Modelado 3D integrado en plataforma PetroBIM del caso de estudio de la capilla del Sagrado Corazón de la Catedral de Palma, Mallorca.

Para la primera fase se ha asignado a cada uno de los elementos individualizados una serie de atributos temporales o constructivos facilitando la elaboración de secuencias constructivas desde el origen de la construcción hasta la actualidad.

De este modo, ahora se pueden realizar múltiples consultas que permiten visualizar y analizar de una manera rápida y sencilla la historia constructiva de la Capilla.

4.1.3. Beneficios del empleo de BIM

Construida la maqueta virtual, desde el visor se puede navegar e interactuar con el modelo y su información asociada por medio de secciones virtuales, consultas gráficas y aplicando filtros de visualización. El uso de estas herramientas, entre otras cosas, ha facilitado localizar el origen de las humedades en la cubierta practicando una sección a la altura de las gárgolas de desagüe.

La visualización tridimensional del estado de alteración de cada elemento con su información asociada (Fig. 4.2) ha permitido:

- Desarrollar la toma de soluciones para la redacción de proyectos de restauración de otras capillas, donde adquieren gran importancia las consultas gráficas relativas a las mediciones de las acciones a ejecutar y la duración de las mismas.
- Su posterior control durante la obra, calculando de forma precisa las diferentes unidades de obra empleadas.
- Y elaborar el futuro plan de conservación.



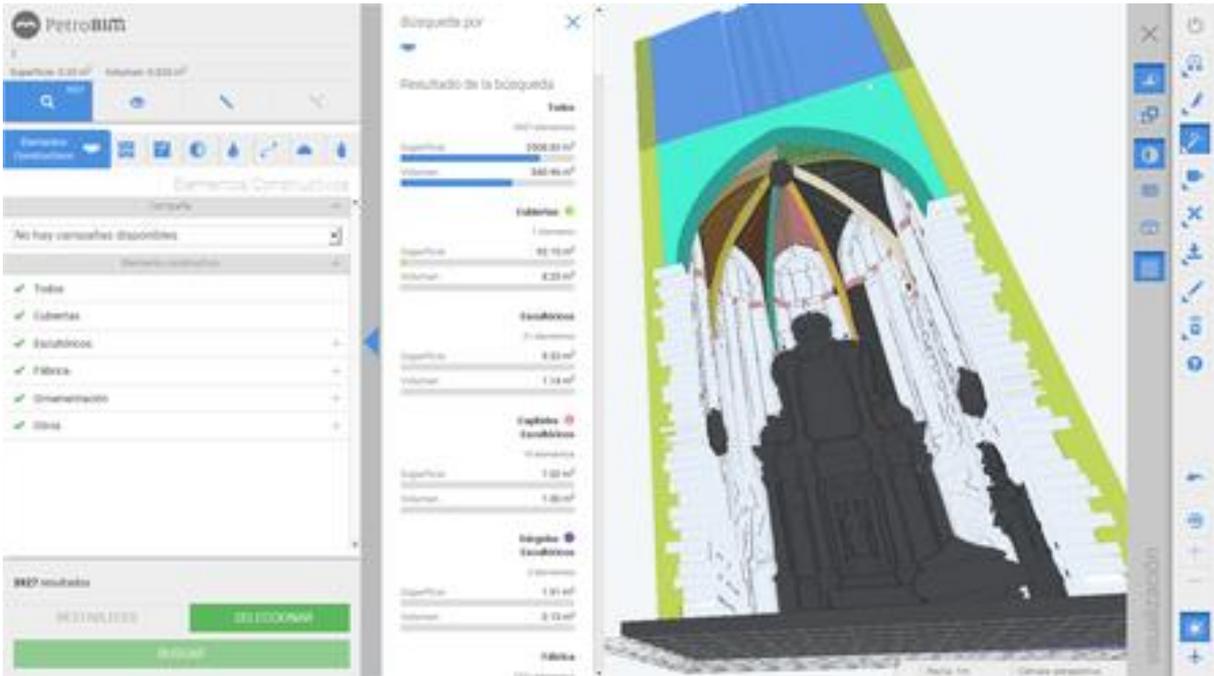


Fig. 4.2. Gestión de la información paramétrica del modelo 3D en la plataforma PetroBIM de la capilla

Además, el uso de la metodología BIM a través de la plataforma PetroBIM permite administrar la información del proyecto estructurándolo en fases de intervención. Se puede acceder fácilmente y en tiempo real a los datos de monitorización, además de la información gráfica y documental. La disposición de tanta información fácil de consultar en un solo archivo gráfico acelera el proceso de toma de decisiones y por lo tanto reduce costes indirectos.

Por lo tanto, los técnicos responsables de velar por la gestión y mantenimiento de los bienes culturales intervenidos cuentan con un completo entregable donde, finalizadas las labores de conservación/restauración, se integra un plan de mantenimiento recogido dentro del proyecto de restauración.

4.2. Iglesia de Santiago de Peñalba en Peñalba de Santiago, Ponferrada, León

La iglesia de Santiago de Peñalba (Peñalba de Santiago, León) constituye un importante hito de la arquitectura mozárabe hispana (Fig. 4.3). Construida en el siglo X, es Monumento Histórico-Artístico Nacional desde 1931. Consta de una nave principal, dividida en dos tramos de planta cuadrada, rematada dos ábsides contrapuestos. El tramo oriental de la nave se flanquea por dos habitaciones de planta cuadrada ofreciendo al conjunto una planta en cruz. Incluye una singular decoración escultórica con modillones polilobulados en los aleros de la iglesia, y pinturas murales originarias bien preservadas.



Fig. 4.3. Ortofoto de la fachada meridional de la iglesia de Santiago de Peñalba.

4.2.1 Objetivos del uso de BIM

Este significativo edificio ha sido objeto tanto de estudios de distinta índole (documentación gráfica, lectura de paramentos, estudios histórico-artísticos, estudios patológicos, etc.), así como de trabajos de restauración y conservación del monumento. Todo ello ha generado una gran cantidad de información relativa a los distintos aspectos de su conocimiento, conservación, gestión y difusión que la Junta de Castilla y León, a través de su Dirección General de Patrimonio Cultural, tiene la intención de gestionar mediante el uso de una plataforma BIM especializada en el ámbito de la arquitectura histórica.

El objetivo fundamental de la implementación de la información digital existente relativa la iglesia de Santiago de Peñalba (Peñalba de Santiago, León) en una plataforma BIM es mejorar la gestión de dicha información, y con ello optimizar los futuros trabajos de investigación, conservación, gestión y difusión de este bien cultural por parte de la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Junta de Castilla y León.

4.2.2. Desarrollo del proyecto

De este modo, el proyecto ha consistido fundamentalmente en la creación de un modelo BIM adaptado a las singularidades del edificio histórico y su implementación en la plataforma PetroBIM de acuerdo a las siguientes fases de desarrollo:

- 1. Creación de un modelo 3D del edificio a partir de la documentación gráfica existente, constituida por un levantamiento fotogramétrico tridimensional del exterior ya realizado y un levantamiento del interior actualmente en desarrollo (Fig. 4.4). El modelado incluye tanto el exterior como el interior del edificio, realizándose en base a los siguientes criterios:
 - Un nivel de detalle suficiente para caracterizar geoméricamente los distintos elementos constructivos.



- Un nivel de división del modelo en distintos elementos geométricos atendiendo a dos aspectos: por un lado, en relación con los elementos constructivos diferenciados y, por otro, en lo relativo a su división en unidades estratigráficas (UE) derivadas de la lectura de paramentos realizada en el exterior del edificio (Fig. 4.5).

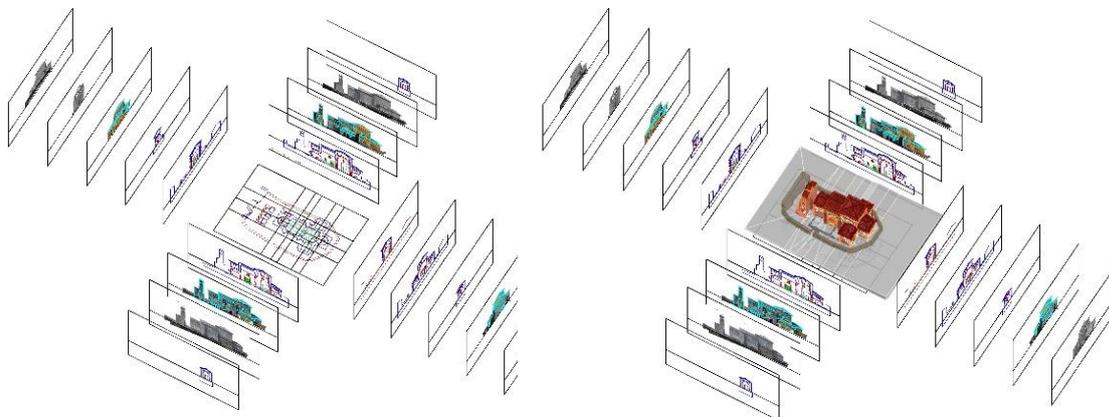


Fig. 4.4. Modelado a partir de proyecciones planas. Situación de las proyecciones y creación del modelo.



Fig. 4.5. Modelado de elementos geométricos constructivos y estratigráficos: agujeros históricos en la portada meridional de la iglesia y el relleno de los huecos.

- 2. Recopilación y organización de la información existente en la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Junta de Castilla y León relacionada con el edificio.

3. Implementación de la información mencionada en la plataforma PetroBIM a través de los módulos habilitados a tal efecto en la aplicación informática, configurándose cada uno de ellos en base a la información específica que se va a implementar. En concreto, se ha implementado la siguiente información:

- Lectura de paramentos del exterior (Arqueología de la Arquitectura).
- Excavación arqueológica del interior.
- Estudios histórico-artísticos del edificio.
- Estudios patológicos del edificio.
- Intervenciones recientes en el edificio.



4.2.3. Beneficios del empleo de BIM

Gracias a este proyecto, se ha conseguido elaborar un modelo BIM estructurado en base a la secuencia evolutiva del edificio, de tal modo que toda la información está directamente relacionada con sus correspondientes actividades y etapas históricas. Este enfoque en la organización de la información es coherente con la naturaleza de la arquitectura histórica y permitirá gestionar de un modo más racional y eficaz tanto los datos existentes como los que se implementen en el futuro.

Por otro lado, la creación de un modelo con un nivel de división alto (se han diferenciado cada una de las unidades estratigráficas y cada uno de los elementos constructivos) ha permitido implementar la información de un modo preciso y riguroso, lo cual facilitará la búsqueda de los datos y la interpretación de los mismos (Fig. 4.6).

Finalmente, el hecho de disponer el sistema de información en una plataforma unificada y accesible online repercutirá en una mayor eficacia en los trabajos de conservación, gestión y difusión del edificio.

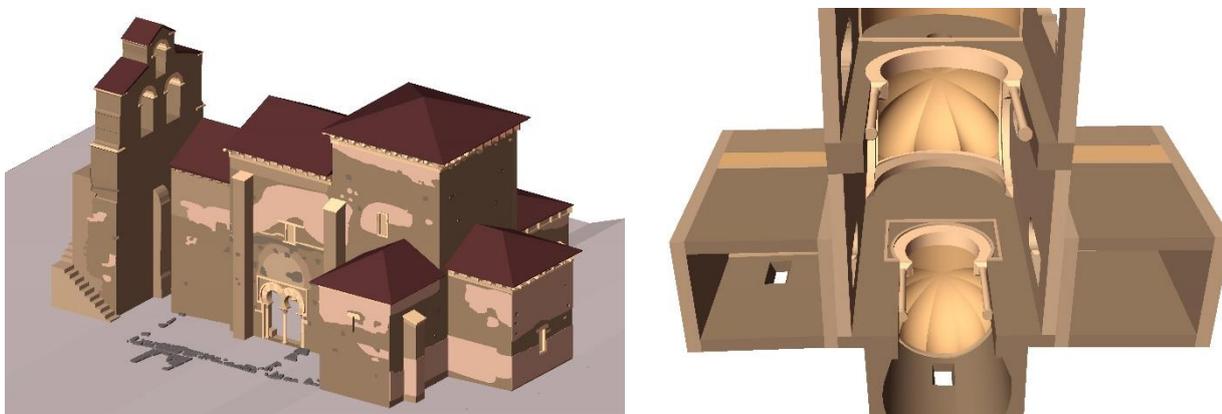


Fig. 4.6. Vista exterior e interior del modelo resultante

4.3. Claustro de la catedral de Pamplona

La catedral de Pamplona se considera una de las realizaciones cumbre del gótico navarro. En sus solemnes proporciones y en la calidad de la ornamentación se reconoce la influencia de la arquitectura coetánea francesa, con connotaciones normandas.

La restauración del claustro de la catedral de Pamplona (Fig. 4.7) es una obra promovida por la Dirección General de Cultura – Institución Príncipe de Viana del Gobierno de Navarra y financiada en convenio con el Arzobispado de Pamplona Tudela, la Fundación bancaria La Caixa, Fundación bancaria Caja Navarra y Fundación para la Conservación del Patrimonio Histórico de Navarra.





Fig. 4.7. Fachada del claustro durante el proceso de obra.

4.3.1 Objetivos del uso de BIM

- Unificar en un único sistema toda la información correspondiente a los distintos ámbitos relativos a las características materiales y constructivas, la intervención, etc.
- Mejora de las consultas de información gracias a los distintos módulos en que está organizada, vinculándola a las diversas fases de trabajo, integrando además los archivos de documentación e imágenes en el dossier de cada proyecto.
- Generar un sistema de lectura y actualización a disposición del cliente en la nube que pueda ser consultado en todo momento, editable y revisable para futuros proyectos, además de poder incluir recordatorios para el mantenimiento del claustro.

4.3.2. Desarrollo del proyecto

La restauración del claustro se desarrolla en 11 fases, entre 2016 y 2019; durante la séptima fase del proyecto, correspondiente a siete tramos de las pandas Este y Sur, la empresa Sagarte ha contado con la metodología BIM para los trabajos de restauración. Por tratarse de un edificio histórico con singularidades específicas respecto a la arquitectura contemporánea se ha utilizado la herramienta PetroBIM. En la creación del modelo BIM de los tramos del claustro han intervenido los modeladores 3D de la empresa Sagarte en estrecha colaboración con Control BIM S.L y Gea Asesoría Geológica.

La elaboración del modelo 3D ha sido posible gracias a la combinación de técnicas distintas. La mayor parte del conjunto, como muros interiores y bóvedas se obtuvieron a partir de láser escáner. Dicho proceso consistió en la



captura de nubes de puntos de coordenadas XYZ que posteriormente se editaron para obtener una malla más sencilla mediante el uso de retopología y softwares como Meshlab o InstantMeshes. Por su parte, las zonas de tracería interior y exterior, así como el sobreclaustro, fueron modeladas a partir de la documentación planimétrica de los archivos de la catedral y, por último, los elementos singulares como el sepulcro de Gajes (Fig. 4.8), los capiteles y las esculturas en el antepecho del tramo sur se realizaron a partir de fotogrametría.

Restauración del Claustro de la Catedral de Pamplona | Iruñeko Katedraleko Klauastroaren zaharbertzietza

PROCESO DE VIRTUALIZACIÓN DEL SEPULCRO DE GAJES (2018)

Sepulcro-arcosolio de Juan Buenaventura Dumon, Conde de Gajes y Virrey de Navarra (1749-1753). Se localiza en el tercer tramo de la cruzija occidental del claustro. Realizado en 1767 para la Iglesia de la Inmaculada de Capuchinos Extramuros de Pamplona, trasladada en 1810 - durante la ocupación napoleónica - al trascoro de la Catedral y más tarde al claustro. Se inscribe en un arcosolio gótico y está flanqueado por las figuras de Hípnos y Thanatos.

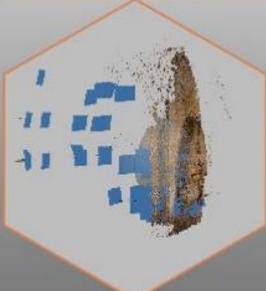
FASE 1. TOMA FOTOGRÁFICA



Primero se lleva a cabo la toma fotográfica del modelo a virtualizar. Dicho proceso se planifica previamente.

Es recomendable el uso de una cámara réflex con trípode, además todas las capturas han de tener los mismos parámetros.

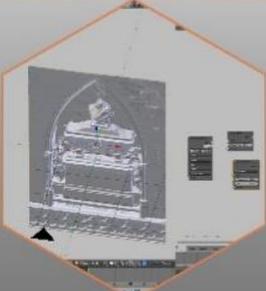
FASE 2. REVELADO DIGITAL Y FOTOGAMETRÍA



A continuación se realiza el revelado digital para posteriormente introducir las maderas en PhotoScan, un programa fotogramétrico.

Las cámaras se alinean para crear una nube de puntos, que luego se convierte en una malla triangular y finalmente se genera la textura.

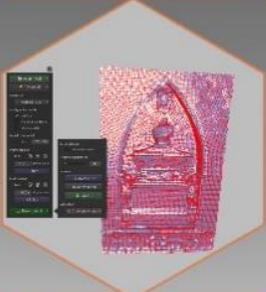
FASE 3. POST-PROCESADO DEL MODELO EN BLENDER



El modelo fotogramétrico resultante puede ser refinado y mejorado gracias a un programa de edición 3D libre como es Blender.

Podremos eliminar excesos de malla, editar la textura, realizar un cajeado y cerrar los huecos que tengamos. Las posibilidades son infinitas.

FASE 4. RETOPOLOGÍA AUTOMÁTICA DE LA MALLA



La malla del modelo fotogramétrico posee gran cantidad de polígonos y para reducir su número y pasar de formas triangulares "tris" a recuadrados "cuads" realizamos un proceso llamado retopología.

Este puede ser automático o manual, en el caso del sepulcro de Gajes, hemos utilizado otro programa de retopología automática llamado Instant Meshes, que luego exportamos de nuevo a Blender.



FASE 5. RENDERIZADO FINAL



Finalmente, el modelo con retopología necesita incluir la textura del original.

Para ello, realizamos el "bakeado", proceso por el cual copiamos la textura del original "high poly" al modelo con retopología "low poly".

Para acabar, podemos renderizar el modelo haciendo fondos, iluminación e incluso crear animaciones y subirlo a una plataforma de visualización en Internet como Sketchfab.















Fig. 4.8. Proceso de virtualización del sepulcro del Conde de Gajes en la cruzija occidental del claustro.

El siguiente proceso consistió en aunar las diversas técnicas en un modelo único mediante el modelado en Blender, donde también se procedió a corregir errores en las mallas (Fig. 4.9). Cuando el modelo estuvo por fin constituido, comenzó el proceso de individualización de cada uno de los elementos para poder dotarlos así de toda la información según los distintos módulos en la plataforma PetroBIM (Fig. 4.10).



Fig. 4.9. Generación modelo único en Blender.

Con el modelo correctamente individualizado y alojado en la plataforma, la siguiente fase consistió en el volcado de toda la información hasta ahora recogida en 2D al modelo tridimensional, convirtiendo así los mapas de tratamientos individuales en un conjunto interrelacionado que permite una visualización total del conjunto.



Fig. 4.10. Modelo de elementos individualizados de la fachada del claustro con la información correspondiente de las zonas a intervenir sobre la plataforma PetroBIM.



4.3.3. Beneficios del empleo de BIM

Frente a la representación 2D tradicional, la representación tridimensional con vínculos a una base de datos proporciona una información muy visual, completa y versátil (Fig. 4.11). Además de la representación gráfica de la intervención, esta información se complementa con mediciones y precios, muy útil para la elaboración de presupuestos, así como la posibilidad de realizar búsquedas personalizadas y comparar los resultados.

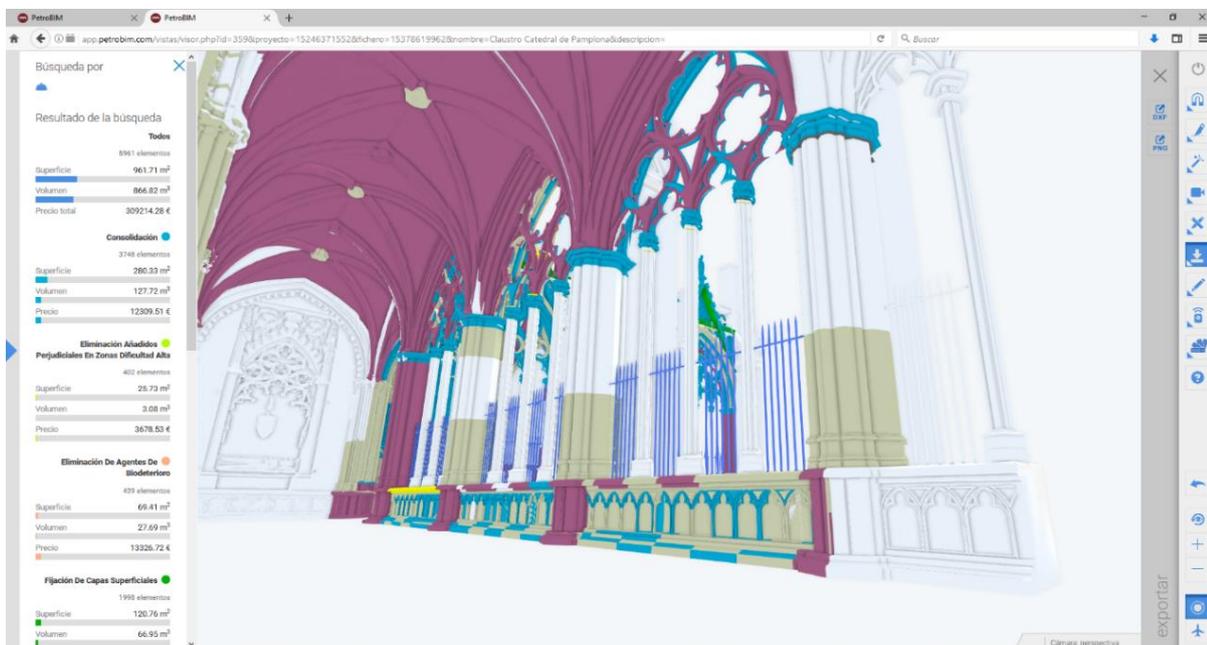


Fig. 4.11. Modelo de la galería del claustro con la información correspondiente de las zonas a intervenir sobre la plataforma PetroBIM.

4.4. Cenador de Carlos V en el Alcázar de Sevilla

El Cenador de Carlos V, también conocido como de la Alcoba, está asentado en los Jardines del Real Alcázar de Sevilla, donde anteriormente existía un cementerio de los emires almohades. La organización estructural del Cenador es muy similar a la “cubba” musulmana al estar rodeada de galerías perimetrales y por su posición central en la huerta circundante, sirviendo de oratorio o “Musalla” en la necrópolis real al igual que los cementerios nazaríes de Granada.

El actual edificio es de estilo renacentista, erigido a mediados del siglo XVI. Actualmente muestra bastantes síntomas de deterioros en los revestimientos exteriores, motivado especialmente por una falta de mantenimiento, circunstancia que hace necesario un urgente proyecto de restauración. Dispone, a su vez, de dos cualidades apropiadas: ser un modelo arquitectónico con altos valores patrimoniales, y disponer de una escala idónea para su máxima exploración en un tiempo prudencial. Por ello, fue seleccionado como modelo de investigación a través del Proyecto HBIM.





Fig. 1. Sección al modelo HBIM y exploración virtual del interior del Cenador del Carlos V.

4.4.1 Objetivos del uso de BIM

Las últimas técnicas gráficas y de gestión de la información que están a nuestro alcance hacen que nos replanteemos una metodología de trabajo distinta a la actual en el campo patrimonial. El objetivo del uso del sistema metodológico BIM es obtener modelos geométricos que nos sean útiles para analizar y conocer verdaderamente el proceso de actividades relacionadas con la arquitectura y la arqueología en el Patrimonio. Sustentados en una plataforma contrastada por todos los intervinientes, que nos asegure una interoperabilidad real de los modelos tridimensionales.

Cada agente interviniente- arqueólogo, arquitecto, ingeniero, historiador y restaurador- necesita de unos requerimientos que varían considerablemente dependiendo de la especialidad, y es por lo que, ahora más que nunca, se hace necesario de una herramienta que permita ese flujo de trabajo de colaboración abierta. Con el modelo virtual se recupera una parte del edificio de manera perceptiva para el mejor conocimiento del patrimonio cultural heredado por parte del ciudadano; pero, lo más trascendental, es que ese modelo de información le facilitará al investigador-conservador una base técnica y herramienta indispensable en el trabajo científico.

En el transcurso de la investigación, se ha querido corroborar la eficacia de unas hipótesis de partida con el propósito de alcanzar unos objetivos concretos:

Establecer una estructura operativa acorde con las características del patrimonio arquitectónico y arqueológico a investigar, que defina las fases sucesivas de actuación y se acomode a los niveles de especialización necesarios para una intervención eficaz.

Proponer una metodología en la toma de datos de acuerdo con las últimas tecnologías de levantamiento geométrico e implementarla con los modelos BIM.

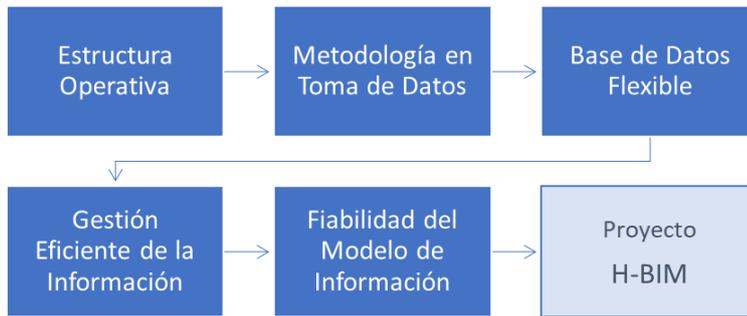
Generar una plataforma flexible de datos alfanuméricos y técnicos que permita resolver las conjeturas presentadas inicialmente o de las que se puedan derivar del análisis realizado desde los campos disciplinares.

Una gestión útil y concreta de todos los datos, generados en el modelo gráfico y de información, iniciada desde las diferentes disciplinas participativas en el proceso de intervención en el Patrimonio.

Concluir con la fiabilidad del modelo de información aplicándolo a casos reales de intervención en el patrimonio. Un Modelo flexible y operativo que estará disponible como documento vivo y que recogerá todas las investigaciones



cometidas en sus facetas histórica, arqueológica, arquitectónica y artística. Una base fundamental para los posteriores trabajos de mantenimiento y futuras intervenciones en el edificio histórico.



4.4.2. Desarrollo del proyecto

El método y proceso de construcción del Proyecto HBIM se sustenta en la plataforma BIM ArchiCAD de Graphisoft, para organiza la información del modelo definiendo fases de construcción, filtrando datos y visualizando las estructuras de forjados, muros, y cubiertas del edificio histórico.

La planificación del trabajo implica la organización de la información a través de un protocolo creado simultáneamente con la construcción del modelo virtual y el análisis histórico y físico-constructivo. En esta primera etapa, los datos históricos, tales como objetos geométricos, policromías, deformaciones de la construcción, se reúnen con los elementos de revestimientos en suelos y muros: baldosas, azulejos, Como segundo paso, todos los elementos se organizan en categorías y se insertan en el modelo. El software BIM empleado -ArchiCAD- ofrece una serie de funciones para definir piezas de construcción geométrica y proporciona una amplia biblioteca de objetos y materiales paramétricos. A su vez, se emplean una serie de capas relacionadas con una categoría de construcción y adaptadas a las peculiaridades del edificio. Estas capas servirán como simples contenedores de elementos agrupados por características que incluyen dimensiones, materiales y su función real en el edificio. Sin embargo, en ocasiones es necesario ordenar estos elementos dentro del grupo por su ubicación espacial o particularidades detectadas. De esta manera, la clasificación en categorías (tipología, función estructural, posición y estado de rehabilitación) de cada elemento mostrado en el modelo constituirá progresivamente el Proyecto HBIM.

Posteriormente, se lleva a cabo la identificación de cada objeto paramétrico. Se aplica un identificador de características (ID) relacionado con las piezas de construcción clasificadas. Su objetivo es identificar y agrupar los elementos de las listas de las diversas disciplinas en restauración para representarlas en los planos de construcción.

Es fundamental un proceso de filtrado para mostrar la información del modelo en etapas de la evolución histórica o de construcción del edificio. Este proceso se lleva a cabo utilizando herramientas específicas de filtrado del software ArchiCAD, que promueve el intercambio de datos gráficos entre los profesionales del equipo de trabajo multidisciplinario.

El diagrama de flujo de la Figura 3 muestra la justificación del proyecto HBIM como modelo de información para la gestión del patrimonio arquitectónico. La propuesta principal establece tres niveles



de acción: la auscultación del edificio histórico para ajustar el modelado a las medidas reales del escaneado, y el texturizado del modelo con imágenes rectificadas por fotogrametría; la identificación y catalogación de piezas irregulares; y finalmente la gestión de la información por un equipo interdisciplinar. El proyecto HBIM que se presenta, apoyado en un levantamiento geométrico preciso y el sistema BIM, permitirá un flujo retroactivo de los datos por los agentes participantes.

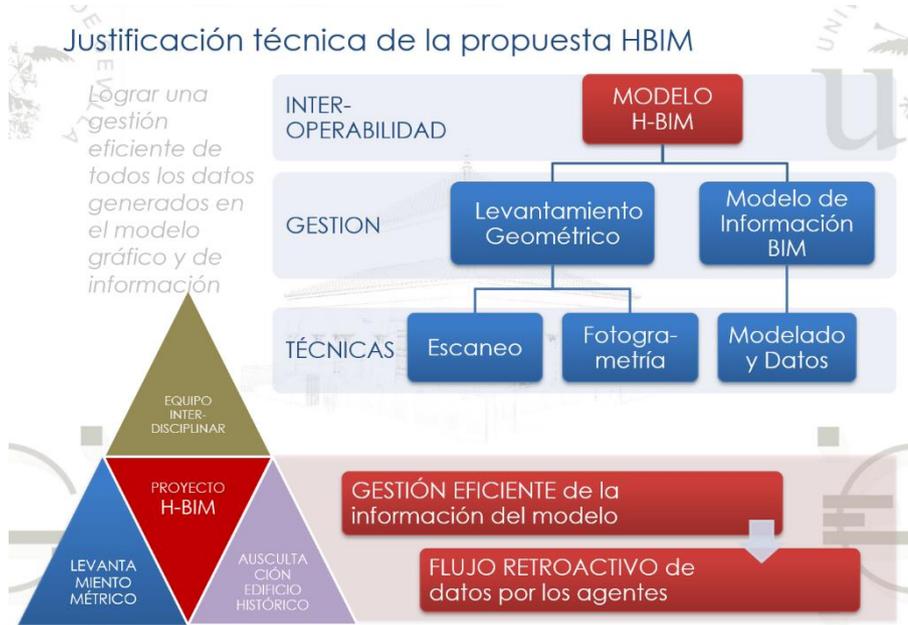


Fig. 3. Justificación de la propuesta del Proyecto HBIM.

La gestión de listados -Esquemas- ha facilitado la clasificación por familias de elementos en el modelo: por su posición, por su estado de rehabilitación, entre otras. Las piezas insertadas se identifican en azulejos y baldosas, y luego se crea un registro de unidades estratigráficas (ya identificadas en el estudio arqueológico) (Fig.4). También es posible enumerar las patologías y deformaciones presentes en ciertos elementos del Pabellón: vigas afectadas por filtraciones de aguas, abombamientos en los muros alicatados y desprendimientos de azulejos.

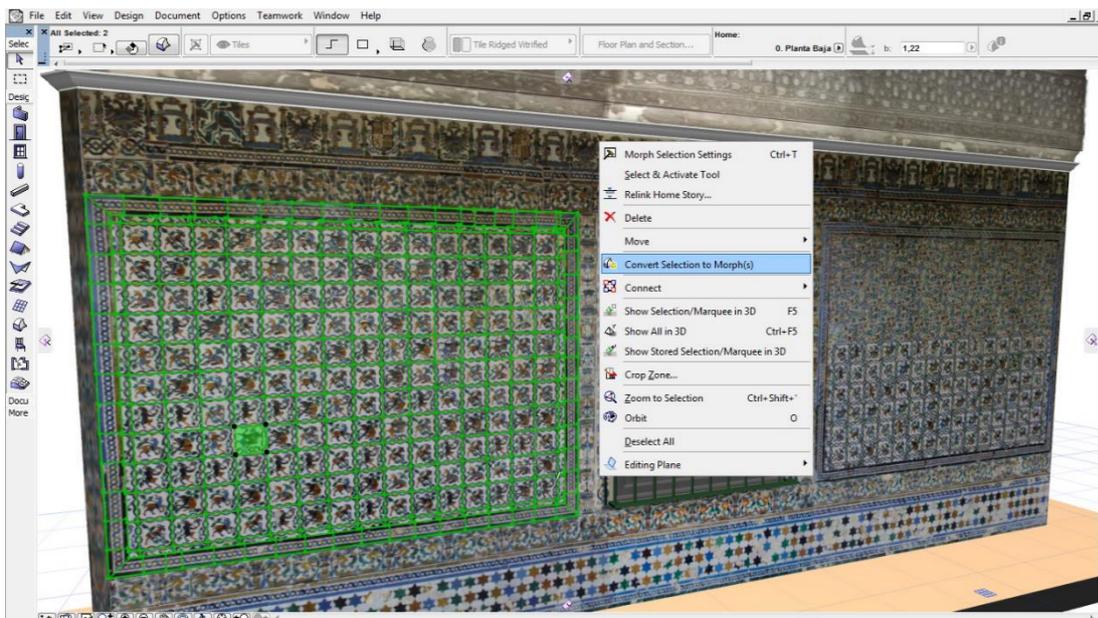


Fig. 4. Los Sub-elementos "azulejos" del paño alicatado son identificados y clasificados por patologías. <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4349>



Finalmente, se obtienen tablas vinculadas al modelo para el inventario y la exploración de los elementos del proyecto HBIM, mostrando las piezas identificadas (Fig.5).

LRE-02(R) INVENTORY SHEET OF TILES										
	ID	Quantity	Position	Element Classification	Renovation Status	Building Material	Dating	Chronology	Dimensions Item	Dimensions Module
Layer Frieze										
	Cen-string	64	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
		64								
Layer Tiles										
	Centaur	11	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Centaur	3	Exterior	Covering	To Be Demolished	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Goat	5	Exterior	Covering	To Be Demolished	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Goat	37	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Horse	3	Exterior	Covering	To Be Demolished	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Horse	20	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Monkey	2	Exterior	Covering	To Be Demolished	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Monkey	15	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Satyr	33	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Strip-Az	1	Exterior	Covering	To Be Demolished	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Strip-Az	55	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Unicorn	21	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
	Wolf	15	Exterior	Covering	Existing	Tile Ridged Vitrified	S. XVI			
		221								
		285								

Fig. 5. Inventory chart of the pieces in the interior flooring. <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4349>

En el caso del pavimento interior del Cenador, la hoja de inventario contiene información sobre las baldosas y cenefas. Otros datos de interés para que el especialista en restauración complete la hoja aparecen en el resto de las columnas, e incluyen cronología, datación, estado de conservación y agresiones -atmosférica, biológica, mecánica y química- (Fig. 6,7,8).

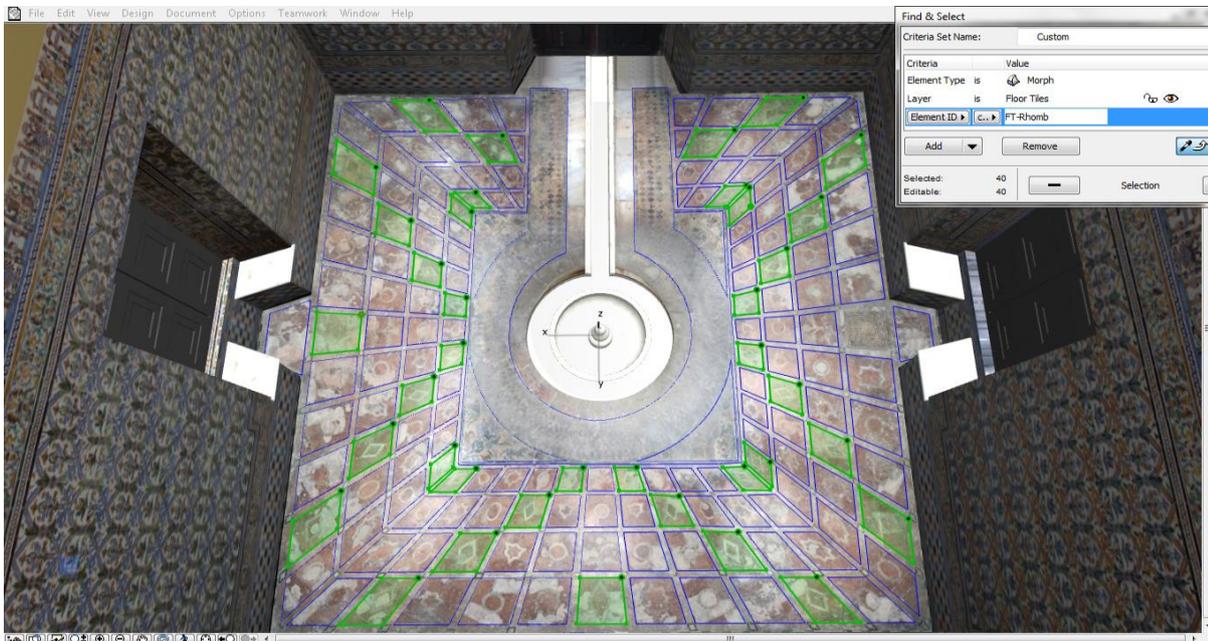


Fig. 6. La ortofoto del pavimento ha sido segmentada en piezas para su posterior identificación y catalogación por tipos.



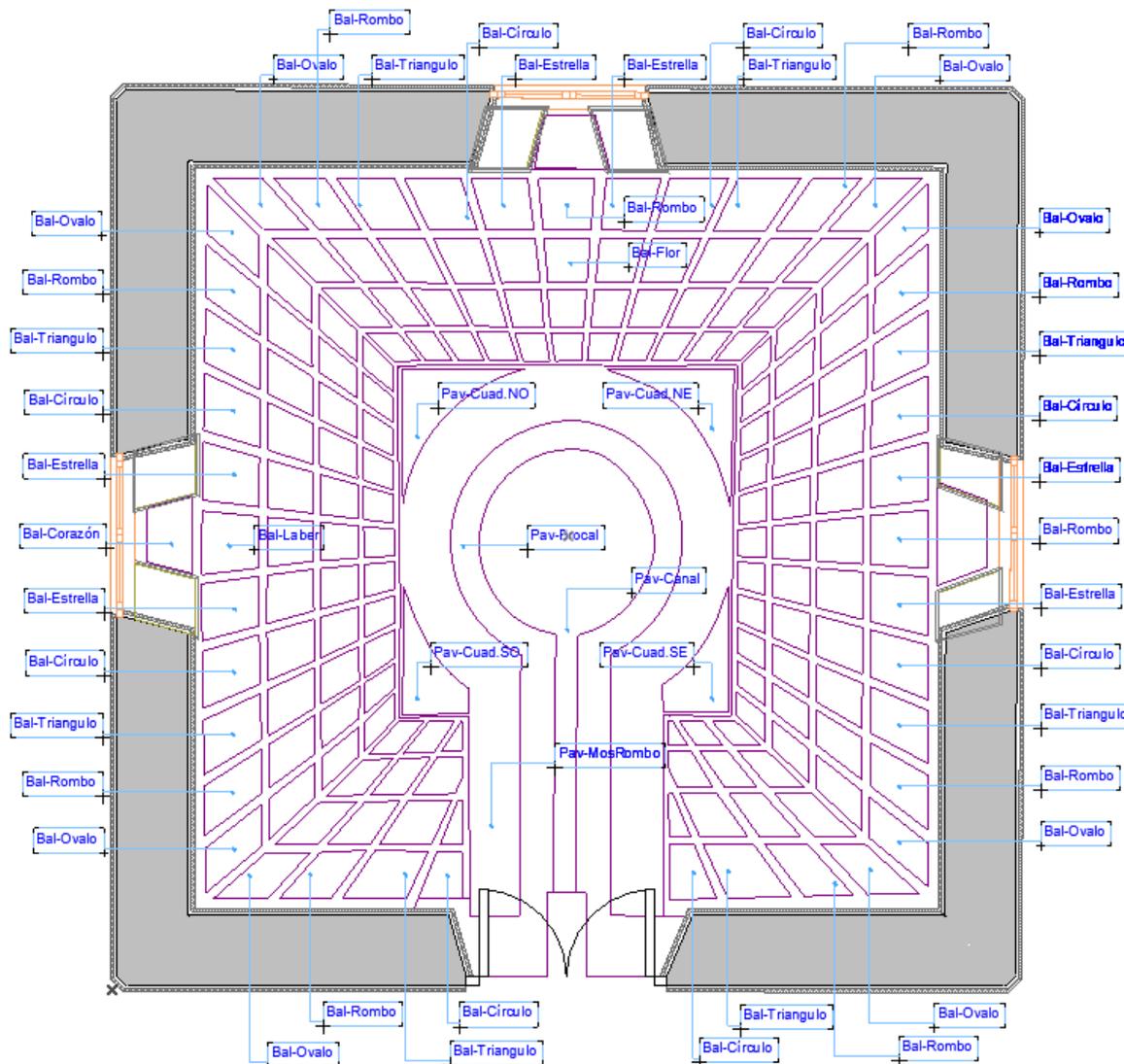


Fig. 7. Planta vectorizada mostrando las etiquetas identificativas de las baldosas.

LRE-01(R) INVENTORY SHEET OF FLOOR TILES TO RESTORE													
	ID	Quantity	Position	Element Classification	Renovation Status	Building Material	Surface Area	Dating	Conservation status	Atmospheric agent	Biological agent	Mechanical agent	Chemical agent
Layer Floor Tiles													
	F-Láser	1	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,20	S. XVI					
	F-Octo	9	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,59	S. XVI					
	FT-Circle	18	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	2,22	S. XVI					
	FT-Flower	4	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,36	S. XVI					
	FT-Heart	4	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,64	S. XVI					
	FT-Oval	31	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	2,95	S. XVI					
	FT-Penta	9	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,38	S. XVI					
	FT-Rhomb	31	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	3,30	S. XVI					
	FT-RhombOval	9	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,38	S. XVI					
	FT-Star	31	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	2,79	S. XVI					
	FT-Triang	28	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	2,79	S. XVI					
	Pav-Canal	1	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	1,86	S. XVI					
	Pav-MosRhomb	2	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	4,21	S. XVI					
	Pav-Quad.NE	1	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,32	S. XVI					
	Pav-Quad.NW	1	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,30	S. XVI					
	Pav-Quad.SE	1	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,25	S. XVI					
	Pav-Quad.SW	1	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	0,25	S. XVI					
		182											
Layer Pavement - Borders													
	Pav-Friezes	1	Interior	Footing	To Be Demolished	Ceramic Floor Tiles Mosaic	8,90	S. XVI					
		1											
		183											

Fig. 8. Tabla inventario de las baldosas del pavimento interior del Cenador, vinculada al modelo HBIM de modo recíproco. <https://polipa-pers.upv.es/index.php/var/article/view/4349>



4.4.3. Beneficios del empleo de BIM

Los resultados de esta investigación demuestran que la plataforma BIM (ArchiCAD de Graphisoft) tiene una serie de herramientas disponibles para modelar geometrías complejas que son típicas del patrimonio arquitectónico, de manera similar al software tradicional para edición 3D. El modelo actual alcanza la calidad gráfica y el nivel de detalle de un prototipo de base para un análisis efectivo de los revestimientos.

Se confirma que el sistema BIM genera un modelo gráfico de entidades paramétricas para clasificar y administrar correctamente los datos recopilados. El software BIM -ArchiCAD-, en sí, facilita la gestión de los datos gráficos y alfanuméricos, evitando la necesidad de utilizar otras plataformas externas. La caracterización realizada de paredes y pisos para identificar piezas para un análisis o restauración, se relaciona luego con los esquemas diseñados para cada especialista: inventarios de piezas para restauración de pisos y azulejos. Estos esquemas o tablas se pueden configurar de acuerdo con cada disciplina al incluir elementos esenciales para los profesionales involucrados. Cada cambio en las características de una pieza de construcción dentro del modelo BIM se muestra inmediatamente en el diseño del registro.

Además, un inventario preciso clasificado por tipologías de construcción se completa con los datos geométricos y las propiedades intrínsecas de los elementos en el modelo de información, tales como arcos, trabajos de carpintería, columnas y vigas de la estructura de las logias y el techo artesonado.

Finalmente, el Proyecto HBIM incorpora listados de elementos para que se pueda obtener la Tabla de Cantidades. Este documento puede vincularse a bases de datos de costos en el mismo software o exportarse a programas de administración de tiempo y costos (4D y 5D, respectivamente) para obtener el presupuesto de restauración.

Aunque, en principio, la creación del modelo está a cargo de especialistas en software BIM, los usuarios no calificados pueden implementar registros de datos en el modelo, con la exportación de tablas de datos en archivos Excel y su posterior relleno de ítem específicos para ser importados de nuevo al Proyecto BIM. En este sentido, cualquier usuario puede incluir información histórica, los materiales empleados o su estado de conservación. Por lo tanto, la catalogación de elementos como objetos con ID permite la identificación automática de las piezas para revestimientos y pisos, y por lo tanto facilita el proceso de intercambio de datos.



Además, vale la pena mencionar que las mediciones globales del edificio se contrastaron con la información derivada de la técnica de escaneo láser 3D para lograr un modelo BIM preciso. En el presente estudio de caso, la



metodología de modelado se basa en referencias a la nube de puntos tridimensionales, de modo que el sistema de construcción del edificio se represente correctamente.

4.4.4. Conclusiones:

En este trabajo de investigación se destaca el potencial de las plataformas BIM en los registros de datos para el patrimonio construido. El uso de aplicaciones que incluyen entidades paramétricas (GDL) se ha convertido en un punto de inflexión en la obtención de documentación gráfica y la gestión de datos intrínsecos esenciales para la creación de listados específicos de información, destinados a catalogar los elementos analizados. No solo los datos dentro de sus parámetros de definición estarán disponibles en el modelo de información de construcción para los profesionales que intervienen, sino también para otros investigadores que puedan necesitar acceso.



5. Referencias

Informes

AENOR, 2011 *Subcomité AEN/CTN 41/SC 13 - Organización de modelos de información relativos a la edificación y la obra civil.*

Comisión del Plan Nacional de Conservación Preventiva, 2011 *Texto del Plan Nacional de Conservación Preventiva.* Ministerio de Educación Cultura y Deportes.

<http://www.mecd.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:30080f76-742a-407a-a5aa-1696b79f25ae/10-maquetado-conservacion-preventiva.pdf>.

Denard, H. (ed) 2009 *The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage.* King's College, London.
www.londoncharter.org

Departamento de Conservación Preventiva, 2018 *Fundamentos de Conservación Preventiva.* Instituto del Patrimonio Cultural de España.

<http://www.mecd.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:7460d05f-2927-45c4-ba50-1836a35644fd/CPFundamentos2017.pdf>.

es.BIM, 2018 *Informe. Observatorio de Licitaciones BIM.*

<https://www.esbim.es/observatorio/>

Historic England, 2017 *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model.* Historic England, Swindon.

<https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/recording-heritage/>

International Forum of Virtual Archaeology, 2011 *Principles of Seville.*

<http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/03/BORRADOR-FINAL-FINAL-DRAFT.pdf>

UNESCO 2017 *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention.* World Heritage Centre.

<http://whc.unesco.org/en/guidelines>



Monográficos

Achille, C., Lombardini, N. y Tommasi, C. 2015 "BIM and cultural heritage: compatibility tests in an archaeological site". *WIT Transactions on The Built Environment*, 149. 593-604.
doi: 10.2495/BIM150481

Álvarez, E., Utrero, M^a. Á. y Baltuille, J. M. 2017 *Geología y Arqueología. Estratigrafía de la Tierra, estratigrafía del Patrimonio*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

Arayici, Y., Counsell, J. Mahdjoubi, L., Nagy, G. A., Hawas, S. y Dweidar, K. (eds.), 2017 *Heritage Building Information Modelling*. Taylor & Francis, Oxford.

Armisen, A., García, B., Mateos, F. J., Valdeón L. y Rojo, A. 2016 "Plataforma virtual para el diseño, planificación, control, intervención y mantenimiento en el ámbito de la conservación del patrimonio histórico 'PetroBIM'". *REHABEND*. Burgos.

Banfi, F. 2016 "Building information modelling - a novel parametric modeling approach based on 3D surveys of historic architecture", en Ioannides, M., Fink, E., Moropoulou, A. Hagedorn-Saupe, M., Fresa, A., Liestø, G., Rajcic, I., y Grussenmeyer, P. (eds.) *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*. Springer, Cham. 116-127.
doi: 10.1007/978-3-319-48496-9_10

Caballero, L. y Escribano, C. (eds.) 1996 *Arqueología de la Arquitectura. El método arqueológico aplicado al proceso de estudio y de intervención en edificios históricos*. Junta de Castilla y León, Valladolid.

https://patrimoniocultural.jcyl.es/web/jcyl/PatrimonioCultural/es/Plantilla100Detalle/1284217981403/_/1284446164582/Redaccion

Castellano, M. 2015 "Generación de un modelo de información del patrimonio inmueble en el momento de su protección jurídica". *Expresión gráfica arquitectónica*, 26, 266-277.
<https://doi.org/10.4995/ega.2015.4060>

Dore, C. y Murphy, M. 2012 "Integration of Historic Building Information Modeling and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites", en *18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: "Virtual Systems in the Information Society"*. Milan. 369-376.
<https://arrow.dit.ie/beschrecon/72/>

Francovich, R. y Parenti, R. (eds) 1988 *Archeologia e restauro dei monumenti. Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia*. All'Insegna del Giglio, Firenze.
<http://www.bibar.unisi.it/node/283>

Harris, E.C. 1991 *Principios de estratigrafía arqueológica*. Crítica, Barcelona.
En ingles: <http://www.harrismatrix.com/>

Herráez, J.A. 2018 "El concepto del mantenimiento y su encaje en la metodología de trabajo de la conservación preventiva". *Actas del VI Congreso del GEIC*, Vitoria, 20 - 22 de septiembre de 2018.

Jordan, 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.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/10/4/908>

Martín, R., Cámara, L. y Murillo, J. I. 2018 "Análisis integrado de construcciones históricas: secuencia estratigráfica y diagnóstico patológico. Aplicación en la iglesia de Santa Clara (Córdoba)". *Arqueología de la Arquitectura*, 15.
<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2018.001>



Murphy, M. y Dore, C. 2012 "Integration of Historic Building Information Modelling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites", en *18th International Conference on Virtual and Multimedia (VSMM): "Virtual Systems in the Information Society"*. Milan. 369–376.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6365947>

Murphy, M., McGovern, E. y Pavia, S. 2013 "Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76. 89–102.

Nieto, J. E. 2014 *Generación de modelos de información para la gestión de una intervención en el patrimonio arquitectónico*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

Nieto, J. E. y Moyano, J. J. 2014 "El Estudio Paramental en el Modelo de Información del Edificio Histórico o 'Proyecto HBIM'". *Virtual Archaeology Review*, 5. 73–85.

Nieto, J. E., Moyano, J. J., Rico, F., 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

Osello, A. y Rinaudo, F. 2016 "Cultural heritage management tools: the role of GIS and BIM", en Stylianidis, E. y Remondino, F. (eds) *3D Recording, Documentation and Management in Cultural Heritage*. Whittles Publishing, Dunbeath.

Scianna, A. y Gristina, S. 2015 "Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: Il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della Chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma". *Archeologia e Calcolatori Supplemento*, 7. 199–212.

Tabales, M. A. 2002 *Sistemas de análisis arqueológicos de edificios históricos*. Universidad de Sevilla, Sevilla.

Utrero, M^a Á., Murillo, J. I. y Martín, R. M. 2016 "Virtual models for archaeological research and 2.0 dissemination: The early medieval church of San Cebrián de Mazote (Spain)". *SCIRES-IT-Scientific Research and Information Technology*, 6(2). 93–108.
<http://caspur-ciberpublishing.it/index.php/scires-it/article/view/12242>

Vega, E. de. y Martín, C. 2011 *Arqueología aplicada al estudio e interpretación de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas*. Ministerio de Cultura, Madrid.
<https://es.calameo.com/read/000075335b34985f34eff>

Volk, R., Stengel, J. y Schultmann, F. 2014 "Building Information Modelling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs". *Automation in Construction*, 38. 109–127.

Revistas

Arqueología de la Arquitectura – Universidad País Vasco/CSIC
<http://arqarqt.revistas.csic.es/index.php/arqarqt>

Informes de la Construcción – CSIC

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion>
 Destacamos los siguientes monográficos:

1993: "Construir el Pasado" (I y II, Vol. 45, Núm. 427 y 428) Antoni González (coord.).

1995: "Leer el documento construido" (Vol. 46, Núm. 435) Luis Caballero y Pablo Latorre (coord.).

Virtual Archaeology Review – Universidad Politécnica de Valencia
<https://polipapers.upv.es/index.php/var>

