

Metodologías para el desarrollo de una base de datos gráfica del patrimonio arquitectónico

Methodologies for the development of a graphic database of architectural heritage

Resumen:

Autores:
Marta Quintilla-Castán*
mquintilla@unizar.es
Luis Agustín-Hernández*
lagustin@unizar.es

* Universidad de Zaragoza

* España

Recibido: 28/May/2022
Aceptado: 10/Oct/2022

Los avances tecnológicos que se han venido produciendo gracias al desarrollo de las herramientas de captura y procesamiento de datos referentes al patrimonio arquitectónico han modificado la metodología de trabajo. La incorporación de modelos tridimensionales complejos en los Sistemas de Información, favorece el procesamiento y análisis de los datos en un soporte común que facilita la accesibilidad y consulta, así como la adopción de decisiones relacionadas con el modelo. Se han analizado las distintas tecnologías y metodologías que permiten administrar la información en un mismo modelo como el HBIM (Historic Building Information Modelling), la tecnología WebGL o los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de establecer las posibilidades que cada una de ellas aportan a la documentación gráfica del patrimonio como medio para preservar sus valores culturales. La evaluación ha permitido establecer sus necesidades esenciales de interoperabilidad y accesibilidad mediante el empleo de la estandarización y normalización.

Palabras clave: patrimonio arquitectónico; modelo 3D; HBIM; SIG; WebGL.

Abstract:

The technological advances that have been produced thanks to the development of data capture and processing tools related to architectural heritage have modified the work methodology. The incorporation of complex three-dimensional models in Information Systems favors the processing and analysis of data in a common support that facilitates accessibility and consultation, as well as the adoption of decisions related to the model. The different technologies and methodologies that allow information to be managed in the same model, such as HBIM (Historic Building Information Modelling), WebGL technology or Geographic Information Systems (GIS), have been analyzed in order to establish the possibilities that each one of them contribute to the graphic documentation of heritage as a means to preserve its cultural values. The evaluation has made it possible to establish its essential needs for interoperability and accessibility through the use of standardization and normalization.

Keywords: architectural heritage; 3D model; HBIM; GIS; WebGL.

1. Introducción

La preservación de los valores culturales del patrimonio arquitectónico han de ser correctamente salvaguardados mediante un exhaustivo registro volumétrico y toda la información complementaria asociada al bien. De este modo, gracias a una correcta documentación gráfica, se asegura su investigación, conservación y difusión. Los avances que se vienen produciendo en las últimas décadas en el desarrollo de la fotogrametría digital y la instrumentación de escaneado láser, han constituido una revolución en los procedimientos de captación de datos, pudiéndose obtener gran cantidad de información muy precisa, con gran rapidez. A su vez, la evolución de los productos obtenidos conlleva nuevos desafíos, como es la gestión y almacenamiento de los datos de manera eficaz y sin pérdida de información.

Los progresos en los métodos de trabajo y en los procesos de documentación en el campo de la representación digital del Patrimonio se han regido fundamentalmente por la Carta de Londres (Denard, 2009) y los Principios de Sevilla (2011), focalizados en la visualización del patrimonio y en la arqueología virtual, respectivamente. En ellas priman criterios de transparencia en la representación, distinguiendo de forma perceptible lo original de lo reconstruido, además de recomendar la adecuación de la representación a los fines de divulgación, preservación e investigación (Statham, 2019).

Las herramientas informáticas empleadas por los investigadores para la representación y gestión de la información referente al Patrimonio Cultural durante las últimas décadas han ido ligadas al desarrollo de la tecnología, influyendo de forma considerable en la metodología de trabajo. Favorece la creación de gran cantidad de documentación realizada con mayor precisión que debe ser administrada y almacenada de un manera sencilla, rápida y accesible. Los procedimientos tradicionales de divulgación de la información presentan inconvenientes como la actualización de los registros. La ausencia de personal técnico cualificado y una administración compartimentada provocan dificultades para mantener al día el inventario, así como el compartir datos.

La difusión digital de la información se considera una solución que da respuesta a gran parte de los problemas mencionados, ya que favorece una actualización constante, adaptabilidad, facultad de incluir cualquier tipo de soporte, distribución selectiva, interacción con el usuario y abaratamiento de los costes de producción. Por ello, es necesario delimitar unos mínimos comunes para la documentación y conservación del patrimonio entre las distintas

administraciones. La principal razón que dificulta la interoperabilidad entre sistemas de información es la heterogeneidad de conceptos, leyes, estándares, tecnologías y audiencias. Tecnológicamente hablando estamos en disposición de poder compartir los datos normalizados entre distintas administraciones. Tres elementos son necesarios: un estándar básico para la descripción de los datos, un lenguaje de etiquetado de los datos y un protocolo para la comunicación entre servidores de la información. Estas soluciones permiten intercambiar datos y delimitar distintos niveles de acceso según el perfil del usuario: público general, investigador, administrativo, etc.

2. Métodos

La metodología llevada a cabo para realizar la presente investigación está motivada por la necesidad de conocer las herramientas que se están empleando para realizar la documentación del patrimonio arquitectónico. En el área del Patrimonio histórico se ha producido un gran acercamiento entre la restauración y las nuevas tecnologías en representación. Estas han favorecido la inclusión de la representación tridimensional y virtual de los objetos respecto a la documentación tradicional mediante representaciones bidimensionales (fotografías, planos, dibujos, etc.). La utilización de estas herramientas aporta grandes beneficios en cualquiera de los usos que el patrimonio pueda hacer de ellas; por tanto, resulta una obligación la consecución de un modelo 3D capaz de albergar en él todos los datos procedentes de una investigación. El modelo 3D es un instrumento útil para el trabajo de los diferentes técnicos que intervienen en el patrimonio durante todo el periodo útil del edificio. Arquitectos, arqueólogos, historiadores, ingenieros o conservadores, deben ser capaces de administrar información heterogénea en formatos diversos para registrar sus valores culturales materiales. Es fundamental la creación de un modelo de datos único generado con una estructura organizativa que favorezca el intercambio de datos y la accesibilidad a la información registrada. De este modo, se facilitará su consulta y utilización para diversas finalidades como la protección, restauración, planeamiento, conservación y educación.

En la primera parte de esta investigación se propone mostrar diversas propuestas metodológicas enfocadas en el registro gráfico del patrimonio arquitectónico y cuyo fin sea dar respuesta a los retos y desafíos descritos. Un Sistema de Información Integral capacitado para administrar información bajo un soporte común para el conocimiento, capaz de integrar, procesar y analizar todos los materiales disponibles e intervenciones a realizar. Para ello, existen distintas tecnologías que permiten almacenar la información en un mismo modelo, como la tecnología WebGL, HBIM (Historic Building Information Modelling) o los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Mediante el análisis de las diferentes propuestas y proyectos, se evidencia la necesidad de gestionar la documentación generada por las diversas disciplinas altamente especializadas que intervienen en el patrimonio. El objetivo es la obtención de una representación ordenada de la información

almacenada, para no afectar a la comunicación entre los agentes que intervienen durante los procesos de registro. La evaluación de las distintas metodologías ha permitido establecer las necesidades de los Sistemas de Documentación del patrimonio, que se pueden resumir brevemente en facilitar la interoperabilidad y la accesibilidad a las bases de datos. Es esencial el empleo de la estandarización para la difusión y capacidad de actualización de la información. Gracias a la utilización de software y lenguaje de código abierto, así como a la normalización, se garantiza el adecuado intercambio de información y su preservación y mantenimiento en el tiempo.

Finalmente, a modo de resultados y conclusiones, se comparan las diversas tecnologías y herramientas con el fin de establecer las posibilidades que cada una de ellas aportan a la documentación gráfica del patrimonio. El análisis se realiza desde la necesidad de plantear un enfoque diferente en la producción de los modelos geométricos 3D debido a la singularidad y características únicas del patrimonio histórico.

3. Herramientas para la documentación del patrimonio arquitectónico

3.1. Aplicaciones basadas en WebGL

En el campo del patrimonio cultural se han desarrollado múltiples visores web enfocados en compartir modelos 3D gracias a la utilización del estándar WebGL (Di Benedetto et al., 2014). Estos se utilizan para ejecutar los recursos de una forma más efectiva; de este modo se obtiene mayor velocidad de visualización y se resuelven dificultades de interoperabilidad entre el software y los modelos 3D (Apollonio et al., 2011). La integración del estándar en los navegadores web permite renderizar modelos 3D nativamente, utilizando propiedades del hardware de gráficos 3D sin la exigencia del uso de extensiones o plugins complementarios.

Dentro de las aplicaciones comerciales de difusión de contenidos 3D, se encuentran las plataformas Sketchfab, p3d.in o Smithsonian Museum X3D Visualizer, entre otras. Se caracterizan por ofrecer grandes repositorios de modelos con unas características de visualización básicas.

Sketchfab (Sketchfab Inc., 2022) es una de las aplicaciones comerciales más relevantes, orientadas a la publicación de modelos 3D en la web mediante la aplicación del estándar WebGL. A través de diferentes plataformas como ordenadores, móviles o gafas de realidad virtual, posibilita la visualización de modelos 3D en diferentes formatos (Scopigno et al., 2017). Actualmente, destaca como una de las principales aplicaciones utilizadas por usuarios profesionales y no profesionales para compartir sus trabajos debido a su facilidad de uso, como en los repositorios CyArk (<https://cyark.org/>), o Arck Project (<https://arck-project.org/>).

La aplicación p3d.in (Brand3D LLC., 2022) ofrece el soporte para almacenar modelos 3D en los principales formatos, así como varias opciones de visualización y navegación básicas. Al igual que otras aplicaciones posee opciones avanzadas para la inclusión de anotaciones sobre el propio modelo.

Otra de las principales plataformas para la visualización de modelos 3D es Smithsonian 3D Digitization (Smithsonian Institution, 2022), desarrollado por Autodesk para el museo Smithsonian. Un proyecto de uso restringido para la creación de un repositorio de objetos del museo que permite su visualización y la realización de un tour virtual en función de criterios de búsqueda específicos.

Asimismo, existen otros proyectos realizados con software de código abierto especializados en visualización del patrimonio histórico, como 3DHOP o Potree que utilizan sistemas WebGL y permiten visualizar nubes de puntos en alta resolución o mallas. Ambas aplicaciones se utilizan en proyectos dedicados a documentar el patrimonio, como Open Heritage 3D (<https://openheritage3d.org/>) o Global Digital Heritage (<https://globaldigitalheritage.org/>).

3DHOP (Visual Computing Lab - ISTI – CNR, 2022), 3D Heritage Online Presenter, es una plataforma para la presentación de modelos 3D de alta resolución en entorno web. La tecnología es de código abierto basada en WebGL, componente de HTML5 y SpiderGL, una librería Javascript. De este modo, funciona sin la necesidad de instalación de plugins y en la mayoría de los navegadores. Esta tecnología tiene la habilidad de trabajar con mallas complejas o nubes de puntos basados en una estructura de datos multi-resolución (Potenziani et al., 2015). Las principales ventajas para su uso en patrimonio es el tiempo de respuesta, la utilización de diferentes niveles de detalle, la facultad de adaptarse a los distintos dispositivos y la capacidad de compresión (Figura 1).

Potree (Potree, 2022) es un visor open source cuya característica principal es que ha sido especialmente desarrollado para visualizar en tiempo real grandes cantidades de puntos, usando tecnologías estándar basadas en web que funcionan dentro de un navegador web. Se basa en la API de JavaScript WebGL y la librería Three.js (Three.js, 2022) que permite crear y mostrar animaciones en 3D aceleradas por GPU a través de un navegador web, ya que es compatible con HTML5 y WebGL. Favorece el análisis y validación de datos de nubes de puntos sin la necesidad de pasar a malla y ser procesados (Schütz, 2016). Potree es compatible con Cesium (Cesium GS, 2022), una librería que permite incorporar al visor mapas y globos 3D. Sin embargo, la plataforma dispone de una aplicación independiente para la visualización de modelos 3D, como es CesiumJS.

Además, basados en node.js destacan Kompakkt (<https://kompakkt.de/>) y Aton (<http://osiris.itabc.cnr.it/aton/>), este último desarrollado para crear aplicaciones Web3D/WebXR al igual que Aleph (<https://github.com/aleph-viewer/>).

Otra aproximación a la visualización de modelos 3D a través de la web es la que aportan los motores de juegos

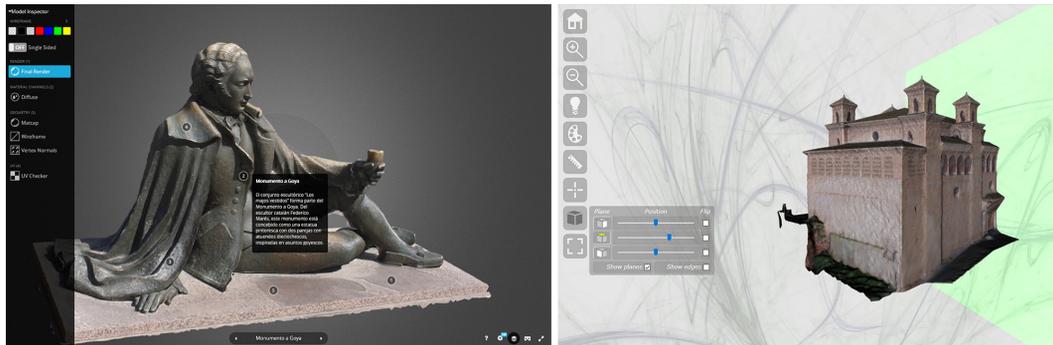


Figura 1: A la izq., modelo del conjunto escultórico “Los Majos Vestidos” (Zaragoza), publicado en Sketchfab. A la dcha., modelo de la Iglesia de San Félix (Torralba de Ribota, Teruel) en el visor 3DHOP

Fuente: Elaboración propia

como Unity (Unity Technologies, 2022), CryEngine (Crytek GmbH, 2022), Unreal (Epic Games, 2022) o PlayCanvas (PlayCanvas Ltd., 2022). A diferencia de las anteriores plataformas web, permiten una mayor personalización y capacidad de interacción con el modelo.

Las aplicaciones basadas en WebGL constituyen un gran progreso tecnológico para la representación 3D del patrimonio a través de la web, ya que posibilitan la navegación e interacción con el modelo, además de la inserción de información en él. Propician la elaboración de grandes repositorios de objetos enfocados en un uso profesional, turístico o divulgativo. Sin embargo, en el ámbito de la conservación del patrimonio arquitectónico deben administrar grandes cantidades de información, por lo que sus características limitan su utilización en determinados usos.

3.2. Modelo de Información del Edificio Histórico. HBIM

Los edificios históricos son el producto de un conjunto de acciones constructivas, destructivas y transformadoras que han acontecido en el transcurso de su historia. El estado actual de un edificio es el que ofrece en un momento preciso de su historia y para conocerlo debemos aportar el marco teórico que permita documentar con rigor su visión evolutiva. Es necesario activar un proceso de análisis interdisciplinar que permita coordinar y poner en común los procesos de análisis y flujos de trabajo (Armisen et al., 2018).

La obtención de un modelo virtual 3D completo del patrimonio arquitectónico ha supuesto un gran esfuerzo para numerosos investigadores cuyas propuestas metodológicas se enfocan en el empleo de la tecnología BIM. La gestión de la información por medio del uso de objetos paramétricos organizados jerárquicamente bajo una estructura semántica, centra las investigaciones (Tabla 1).

De las primeras investigaciones referentes a la reconstrucción virtual del patrimonio arquitectónico resalta el desarrollo de un Sistema de Información en Cracovia, Polonia (Dudek y Biais, 2005). La propuesta metodológica se fundamenta en la elaboración de un modelo teórico organizado según una estructura jerárquica de clases que incluyen atributos para permitir el

análisis. Para ello, se emplean conceptos arquitectónicos y urbanos como filtros para la documentación.

Proyectos como la plataforma NUBES (De Luca et al., 2011), amplían la anterior propuesta incorporando la función espacio-temporal a la representación virtual. Los edificios son considerados como formas en constante transformación, que sufren modificaciones en el tiempo, e incluso su desaparición. El programa permite analizar, documentar y representar esas transformaciones desde el punto de vista de distribución del estado temporal.

En la misma línea hay que destacar el proyecto H-BIM, orientado en la creación de una biblioteca de objetos paramétricos interactivos. El resultado es una serie de modelos tridimensionales que contienen información detallada de los sistemas de construcción y materiales de elementos arquitectónicos históricos; metodología utilizada para la creación de objetos paramétricos por medio del empleo del software Archicad y el lenguaje GDL en los proyectos de modelado de Four Courts en Dublín (Dore et al., 2015) y la biblioteca de objetos creados a partir de los manuscritos de Vitruvio (Murphy et al., 2013).

Conviene remarcar los proyectos para la creación Modelos de Información de la Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla (Nieto y Moyano, 2014) y del Cenador de Carlos V del Real Alcázar de Sevilla (Nieto et al., 2016). Ambas propuestas tienen la finalidad de realizar un proyecto de intervención del patrimonio utilizando la metodología HBIM. El modelo generado mediante el software Graphisoft Archicad, utiliza la interfaz de Programación de Aplicaciones (API) con el objetivo de acelerar, estandarizar y automatizar las tareas mediante el desarrollo de instrucciones y algoritmos. Por contra, otras investigaciones (Oreni et al., 2014) emplean plugins de Rhinoceros como NURBS, con la finalidad de facilitar la representación de elementos arquitectónicos complejos sin pérdidas de detalles ni simplificaciones excesivas. El fin es prevenir problemas asociados con la estandarización en objetos y familias, ineficaces para los proyectos de conservación.

En contra de las necesidades del patrimonio arquitectónico, los programas de modelado genérico BIM han sido diseñados para modelar edificios de nueva edificación, por lo que carecen de objetos 3D y

herramientas específicas para su utilización en patrimonio histórico (Quintilla, 2021). En concreto, carecen de herramientas como NURBS capaces de interpolar nubes de puntos, además de no disponer de instrumentos de extracción automática de primitivas geométricas de secciones orientadas a objetos arquitectónicos. La solución a estas cuestiones implica, según algunos autores (Banfi, 2019), la adaptación para su utilización en patrimonio de los programas de modelado como Revit. La disponibilidad de APIs (Interfaz de Programación de Aplicaciones), ha permitido el diseño de add-ins aptos para suplementar características y capacidades nativas del software. La inclusión de GOGs (requisitos de modelado) en la programación del software facilita el modelado de elementos históricos, la importación de nubes de puntos, automatiza la creación de bases de datos, permite la adición de nuevos parámetros personalizados y facilita la interoperabilidad. Por tanto, la generación de un modelo compuesto por múltiples subelementos precisa diferentes niveles de detalle (LOD), alto grado de precisión (GOA) y formatos de intercambio específicos para los modelos HBIM (Brumana et al., 2018).

La investigación manifiesta la ausencia de un Sistema Integrado que englobe las cualidades de modelado, almacenamiento, gestión y análisis, indispensables para la ejecución de proyectos de conservación e intervención del patrimonio arquitectónico. Como ya se ha descrito, uno de los primeros programas desarrollados específicamente para la representación del patrimonio arquitectónico es NUBES (De Luca et al., 2011), pero existen otros programas como BIM3DSG (Achille et al., 2019) desarrollados específicamente para este fin.

El sistema integral BIM3DSG (<https://www.sitech-3dsurvey.polimi.it/>) tiene como finalidad la administración de un modelo tridimensional capaz de gestionar de modo preciso toda la documentación de un elemento patrimonial. El sistema facilita la importación o modificación de un modelo 3D por parte de usuarios especializados o profesionales. A su vez, permite a usuarios comunes la utilización del sistema a través de un entorno web que favorece la accesibilidad y la movilidad sin costes adicionales (Figura 2). De este modo, se puede acceder parcial o totalmente a la información recopilada en el modelo BIM, posibilitando la selección de la visualización entre siete niveles de detalle (Fassi et al., 2015). La aplicación ha sido empleada en varios proyectos, como en la conservación de elementos decorativos en la Basílica de San Marcos en Venecia (Fassi et al., 2017) o en la restauración del Duomo de Milán (Rechichi et al., 2016).

Es preciso resaltar INCEPTION¹, proyecto europeo cuyo fin es desarrollar, con estándares abiertos, una plataforma web que permite procesar y compartir modelos 3D organizados semánticamente. Son resultado de la realización de captura de datos y levantamientos tridimensionales enfocados en la gestión de información patrimonial. La interoperabilidad de la herramienta se garantiza mediante la integración de H-BIM ontology (Maietti et al., 2018), un glosario que utiliza el tesoro Arts & Architecture del Getty Institute. Su finalidad es la de aportar a las herramientas BIM una normalización terminológica del patrimonio de la que carecen (Iadanza et al., 2019).

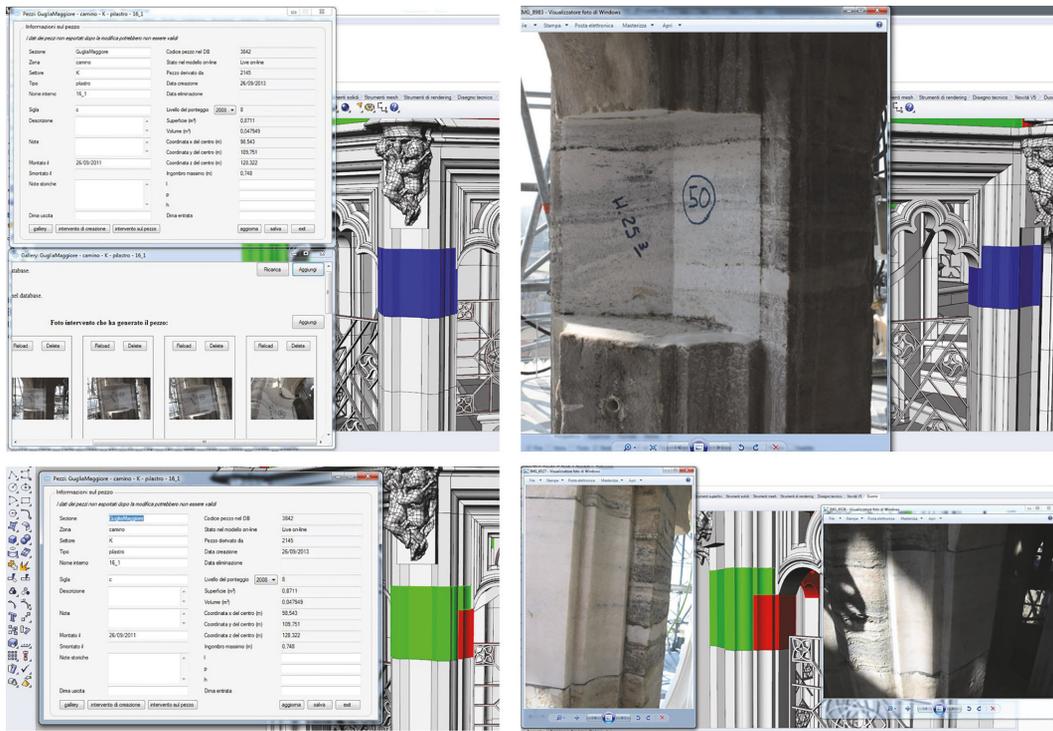


Figura 2: Plataforma Web BIM3DSG. Ejemplo de aplicación en labores de restauración del Duomo de Milán, Italia
Fuente: Rechichi et al. (2016)

¹ <https://www.inception-project.eu>

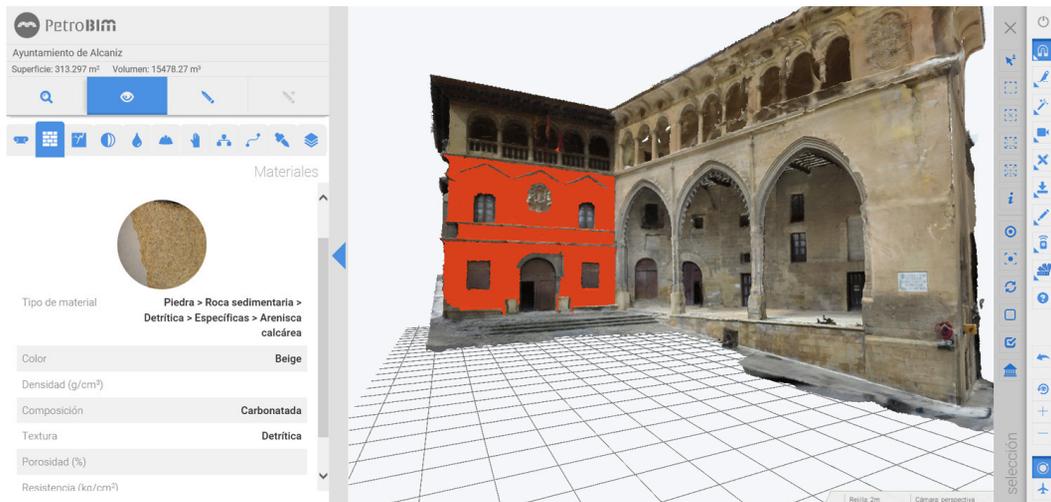


Figura 3: Plataforma PetroBIM. Estudio de integración del modelo del Ayuntamiento y Lonja de Alcañiz, España

Fuente: Elaboración propia

Entre todos los programas analizados destaca el único software comercial. PetroBIM es una aplicación desarrollada para la administración de toda la información referente a un bien patrimonial durante todo el ciclo de vida de la edificación y centrada en la redacción de proyectos profesionales (Armisen et al., 2016). Se compone de una serie de módulos que ayudan a definir las características necesarias para los distintos niveles de intervención (Figura 3).

3.3. Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica tienen la cualidad de ejecutar análisis de grandes volúmenes de información en formatos diversos y para aplicaciones dispares gracias al empleo de procedimientos de superposición, análisis de redes, búfer y análogos, así como al uso de datos temáticos para realizar estadísticas, gráficos, interpolaciones o consultas temáticas. La característica principal que aportan los Sistemas de Información Geográfica es el análisis espacial. En el caso concreto de la documentación del patrimonio arquitectónico, la implantación del edificio en el entorno urbano, así como su relación con el paisaje y el territorio, es una capacidad que le diferencia de otras tecnologías también útiles para la representación, como la tecnología BIM.

Otra de las capacidades de los SIG es la de agregar el factor tiempo a los datos espaciales. Recogen procesos dinámicos de los elementos que representan un estado en el tiempo, obteniendo un modelo temporal 4D. La tecnología SIG posibilita almacenar y administrar los datos temporales en múltiples formatos, según la naturaleza de estos y la forma de visualización, como atributos (clases de entidad, catálogos ráster, datasets de mosaico, etc.) o se puede almacenar internamente (en datos netCDF o capas de rastreo). Supone una característica útil en el campo del patrimonio, ya que propicia realizar análisis de los cambios sufridos por un edificio a lo largo del tiempo y detectar así deformaciones u otras alteraciones.

En sus inicios la tecnología SIG se desarrolló para representar modelos 2,5D (terrenos) o superficies planas (fachadas de edificios). Pero en las últimas décadas las nuevas tecnologías han permitido incorporar a los Sistemas de Información modelos 3D, a causa de los requerimientos cada vez mayores de los investigadores de gestionar de un modo preciso y eficiente toda la documentación recabada durante procesos de estudio, análisis o intervención. Existe gran cantidad de literatura sobre el uso de SIG para la visualización de información, pero hay mucha menos documentación orientada al análisis y gestión. Además, la mayor parte de las metodologías y visores se centran en representar pequeños objetos o excavaciones arqueológicas, siendo más limitado su uso en edificación dada su complejidad. El uso predominante de los Sistemas de Información es en labores de conservación y restauración, siendo mucho menor el enfocado a la catalogación e inventariado de arquitectura, restringiéndose a visores con información limitada.

Las investigaciones respecto al uso de SIG para labores de conservación todavía están en desarrollo, pudiendo encontrar diferentes metodologías (Tabla 2). En una primera etapa, las herramientas SIG para la conservación utilizaban imágenes bidimensionales. Mediante herramientas CAD se representaban las vistas del edificio necesarias (alzados, plantas, secciones) que posteriormente se utilizaban para crear mapas vectoriales sobre los que vincular la información. Un ejemplo de este caso es ARKIS (Salonia y Negri, 2003), un Sistema de Información para la recuperación de edificios históricos. El sistema alberga datos heterogéneos que se organizan y representan a través de un SIG y son consultables a través de web o en local.

Con la incorporación de modelos 3D a los sistemas de información se abren nuevas posibilidades. Se pueden distinguir distintas aproximaciones respecto a este tema, siendo la primera de las opciones la construcción de un modelo paramétrico 3D para posteriormente ser integrado en el software 3D GIS. Esta metodología de

Enfoque	Referencia	Caso de estudio	Resumen metodología
BIM	Dudek et al., 2015	Sistema informativo de edificios en Cracovia, Polonia	Elaboración de un modelo teórico organizado según una estructura jerárquica de clases que incluyen atributos para permitir el análisis
BIM	De Luca et al., 2010	NUBES	Incorporación de la función espacio-temporal a la representación, al considerar a los edificios como formas en constante transformación, sufriendo modificaciones en el tiempo, e incluso su desaparición
BIM	Murphy et al., 2013; Dore et al., 2015	Arquitectura de estilo clásico / Four Courts en Dublín, Irlanda	Creación de una biblioteca de objetos paramétricos interactivos HBIM
BIM	Nieto et al., 2014; 2016	Cárcel de la Real fábrica de Tabacos de Sevilla / Cenador de Carlos V del Real Alcázar de Sevilla	Creación de un modelo HBIM generado mediante el software Graphisoft Archicad, utiliza la interfaz de Programación de Aplicaciones (API), con el objetivo de acelerar, estandarizar y automatizar las tareas mediante el desarrollo de instrucciones y algoritmos
BIM	Oreni et al., 2014	Basilica di Santa Maria di Collemaggio en L'Aquila, Italia	Utilización plugins de Rhinoceros como NURBS, con la finalidad de facilitar la representación de elementos arquitectónicos complejos
BIM	Banfi, 2019	Arco de la Paz, Milán	Diseño de add-ins aptos para suplementar características y capacidades nativas del software
BIM	Rechichi et al., 2016; Fassi et al., 2017	BIM3DSG	El sistema integral BIM3DSG tiene como finalidad la administración de un modelo tridimensional capaz de gestionar de modo preciso toda la documentación de un elemento patrimonial. El sistema, facilita la importación o modificación del modelo, por parte de usuarios no especializados o profesionales.
BIM	Iadanza et al., 2019	INCEPTION	Plataforma web de estándar abierto que permite procesar y compartir modelos 3D organizados semánticamente, que son resultado de la realización de captura de datos y levantamientos tridimensionales, enfocados en la gestión de información patrimonial.
BIM	Armisen et al., 2016	PETROBIM	Específica para la administración de toda la información referente a un bien patrimonial, durante el ciclo de vida del edificio

Tabla 1: Metodologías de modelado HBIM

Fuente: Elaboración propia

trabajo está limitada por el nivel de detalle del modelo, puesto que la precisión de la documentación dependerá del proceso de modelado. A su vez, el uso de SIG favorece incorporar nuevos requerimientos que serán esenciales para disponer de una organización de la información estructurada y accesible en el tiempo, como es el uso de la semántica. De este modo, la información es almacenada de manera ordenada en la base de datos y facilita la relación con otras bases de datos.

Un ejemplo a remarcar es MayaArch3D, un proyecto para el desarrollo de un 3D WebGIS enfocado a crear un repositorio arqueológico online llamado QueryArch3D (Von Schwerin et al., 2013). Integra y visualiza datos 2D-3D en resoluciones múltiples y con diferentes niveles de detalle, permitiendo vincular modelos 3D a datos arqueológicos y realizar consultas en tiempo real en un entorno de realidad virtual de atributos almacenados en una base de datos espacial. Otro ejemplo es GIRAPIM,

un software que integra un Sistema de Documentación, Sistema de Información y un Sistema de Gestión, diseñados con una arquitectura modular compuesta por tres componentes principales: un visor, un repositorio semántico y un administrador CityGML (Calle et al., 2010).

La segunda de las aproximaciones a la tecnología 3D SIG tiene como característica principal la creación de un modelo tridimensional texturizado, obtenido a través de herramientas como el escáner laser o fotogrametría. La primera propuesta desarrolla un sistema de gestión semejante al utilizado por las herramientas SIG, que proporciona la capacidad de inserción de información en formatos 2D y 3D en tiempo real. El Sistema de Información SICAR (Fabiani et al., 2016), impulsado por el Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) de Italia, es un ejemplo de esta metodología utilizada en proyectos de restauración (Figura 4).

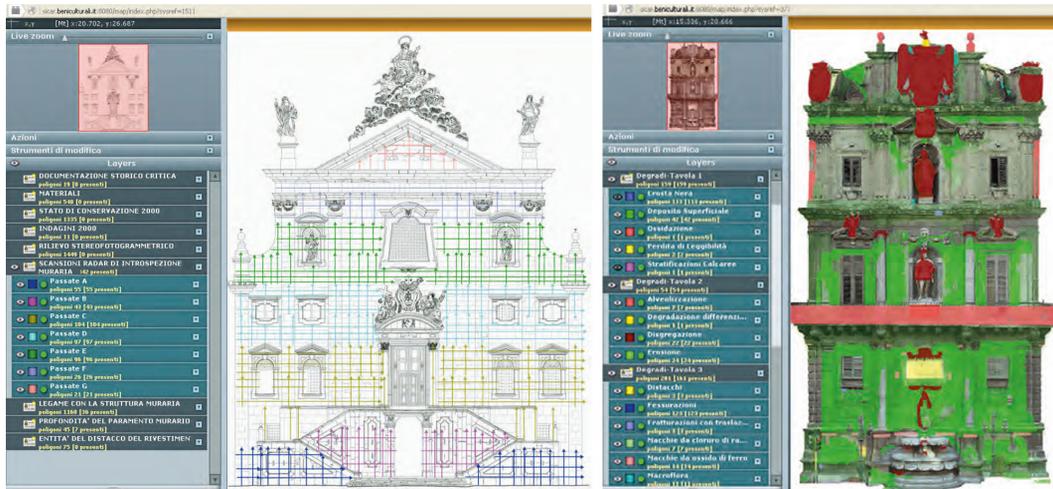


Figura 4: Interfaz de distintos ejemplos de aplicación de SICAR
Fuente: Fabiani et al. (2016)

Los avances en la tecnología SIG en los últimos años han posibilitado incorporar la información directamente sobre el modelo 3D. Uno de los ejemplos iniciales tenía el objetivo de implementar un método de documentación de la arquitectura gracias a un modelo tridimensional unido a una base de datos desarrollada con la tecnología GIS (Canciani et al., 2013). También se puede encontrar esta metodología en trabajos como el proyecto de Çatalhöyük (Forte et al., 2015). Actualmente, se pueden hallar numerosas investigaciones en este campo que se han caracterizado por utilizar modelos 3D basados en nubes de puntos obtenidos por fotogrametría o LIDAR como referencia a la que enlazar documentación, o como base para la elaboración de datos bidimensionales. Sin embargo, como se propone en el marco del Swedish Pompeii Project (Dell'Unto et al., 2016), es posible asociar atributos 2D y 3D superpuestos sobre el modelo

a través de la creación de características 3D obtenidas partiendo de atributos de mapas bidimensionales (Figura 5).

Los últimos desarrollos proponen la creación de sistemas de información capacitados para el almacenamiento y la gestión de información en tiempo real, con posibilidad de acceso mediante plataformas web. Destaca la priorización de atributos como la interoperabilidad entre bases de datos, la representación del modelo y la accesibilidad a usuarios no experimentados. A su vez, se caracterizan por servirse de un modelo 3D construido según una estructura semántica sobre el que se anota en su superficie la información archivada en una base de datos y es accesible para consulta. Neptune Information System es una herramienta útil para la gestión de la documentación originada en el marco de los trabajos

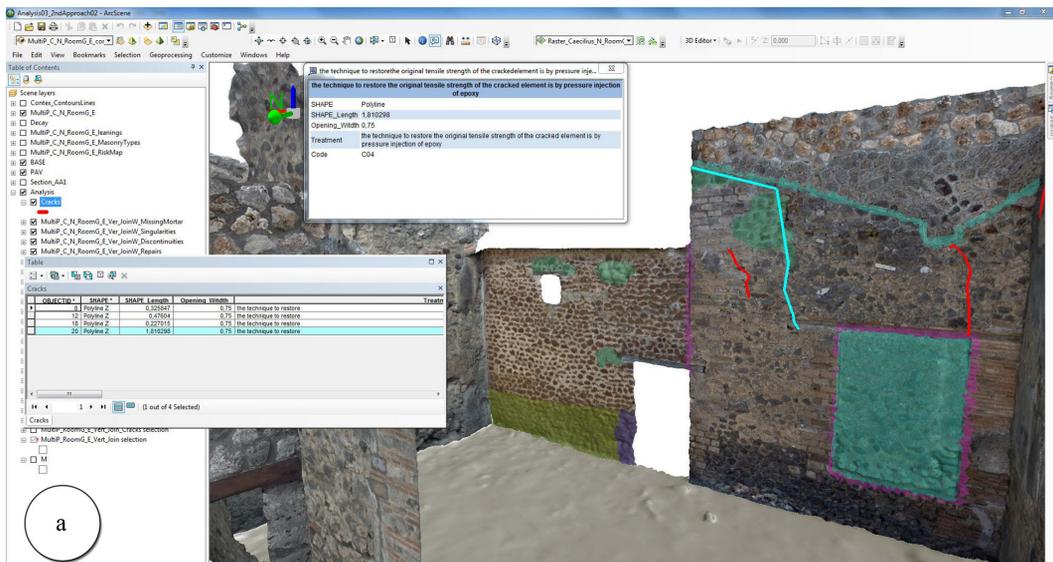


Figura 5: Visor del Swedish Pompeii Project. Cada característica 3D describe un problema específico de descomposición y está vinculada a una tabla de atributos que informa de información relevante
Fuente: Dell'Unto et al. (2016)

de restauración del monumento de la Fuente de Neptuno en Bolonia (Apollonio et al., 2018). El sistema incorpora un modelo 3D semántico de alta densidad dividido en elementos según una estructura jerárquica, en la cual, mediante operaciones, se asocia a cada uno de estos elementos información que se enlazará al correspondiente modelo. El visor se complementa con un panel donde visualizar la información asociada al modelo 3D y realizar operaciones y análisis de datos. La solución generada para documentar la fuente de Neptuno ha permitido desarrollar un sistema de información más completo denominado Sacher 3D Life cycle Management², específico para labores de gestión y restauración (Apollonio et al., 2019). El sistema mantiene las características del modelo semántico, e incorpora herramientas geográficas, de análisis y administración.

Adicionalmente, bajo el marco de diferentes programas financiados por la Comisión Europea se promueve una serie de proyectos con el objetivo de integrar en la biblioteca digital de la cultura europea, Europea³, contenido relacionado con el patrimonio arquitectónico y la arqueología con fines educativos, turísticos y de investigación. Para conectar las distintas infraestructuras de investigación temáticas, se están desarrollando estándares para facilitar la interoperabilidad de la plataforma en red. Los datos son accesibles mediante sistemas de información geográficos como medio de acceso a información en formato 2D y 3D a través de visores que emplean la tecnología WebGL. Algunos de los proyectos son ITN-DCH Project⁴, 3D-ICONS⁵, ADS 3D Viewer⁶ o ARIADNE plus⁷, cuyo fin es diseñar e implementar servicios para facilitar el acceso a información a través de la web.

Enfoque	Referencia	Caso de estudio	Resumen metodología
SIG	Salonia et al., 2003	ARKIS	Sistema de Información para la recuperación de edificios históricos
SIG	Von Schwerin et al., 2013	QueryArch3D	Integra y visualiza datos en 2D y 3D en resoluciones múltiples y con diferentes niveles de detalle, permitiendo vincular modelos 3D a datos arqueológicos y realizar consultas en tiempo real en un entorno de realidad virtual de atributos almacenados en una base de datos espacial
SIG	Calle et al., 2010	GIRAPIM	Integra un Sistema de Documentación, Sistema de Información y un Sistema de Gestión, diseñados con una arquitectura modular compuesta por tres componentes principales: un visor, un repositorio semántico y un administrador CityGML
SIG	Fabiani et al., 2016	SICAR	Impulsado por el Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) de Italia, para ser utilizado en proyectos de restauración. Gran parte de la información se puede superponer en formas vectoriales sobre el modelo mediante capas que permiten el análisis de datos
SIG	Canciani et al., 2013		Método de documentación de la arquitectura, gracias a un modelo tridimensional, unido a una base de datos desarrollada con la tecnología GIS
SIG	Forte et al., 2015	Catalhöyük	Definición de una Unidad Mínima Estratigráfica (MSU) sobre la que en su superficie se permite el análisis e incorporación de información de dos tipos: Información de técnicas constructivas e información del estado de conservación, mediante capas temáticas relacionados por georreferenciación
SIG	Dell'Unto et al., 2016	Swedish Pompeii Project	Vinculación de atributos 2D y 3D directamente mediante la creación de características 3D generadas a partir de atributos de mapas bidimensionales, dividiendo el modelo 3D en fachadas planas y dibujando sobre ellas las capas temáticas en 2D
SIG	Apollonio et al., 2018	Neptune Information System	Sistema de información capaz de almacenar y gestionar la información en tiempo real, accesibles a través de plataformas web y creada bajo tecnologías estándar que permiten la interoperabilidad entre distintas bases de datos, priorizando características como facilidad de utilización por usuarios no expertos y la visualización del modelo.

Tabla 2: Propuestas metodológicas de Sistemas de Información Geográfica del patrimonio

Fuente: Elaboración propia

² <http://www.sacherproject.com>

³ <https://pro.europeana.eu>

⁴ <https://itn-dch.net>

⁵ <http://3dicons-project.eu/portal>

⁶ <https://archaeologydataservice.ac.uk>

⁷ <https://portal.ariadne-infrastructure.eu>

4. Conclusiones

Las técnicas de adquisición empleadas para realizar los levantamientos, así como la numerosa documentación asociada al bien generada por los diferentes profesionales, implican el desarrollo de nuevas propuestas metodológicas enfocadas a gestionar la información referente al patrimonio. En la presente investigación se ha efectuado una revisión de diferentes procedimientos orientados a la documentación del patrimonio arquitectónico y de las distintas tecnologías utilizadas para implementar esa labor.

Como resultado de los levantamientos necesarios para capturar la información volumétrica se obtienen productos que contienen gran cantidad de información y documentación heterogénea, que debe ser administrada y gestionada para evitar su pérdida y accesibilidad de un modo eficaz, rápido y preciso. Las propuestas para la documentación del patrimonio arquitectónico se centran en la creación de un modelo virtual del edificio capaz de almacenar la información bajo una estructura ordenada. Se busca optimizar la visualización del objeto y los datos asociados a él, permitiendo la representación a través de múltiples vistas, la incorporación de la función temporal, utilización de diversos formatos o la gestión de estructuras relacionales y orientadas a objetos.

La incorporación del modelo tridimensional en un Sistema de Información Integral permite gestionar el conocimiento y los materiales disponibles para efectuar el procesado y análisis de los datos en un soporte común. El objetivo es facilitar la accesibilidad y consulta, así como servir de apoyo a la adopción de decisiones relacionadas con el modelo. Las distintas metodologías expuestas se centran en la utilización de estándares, ontologías y la estructuración del modelo según una jerarquía semántica para favorecer la interoperabilidad entre bases de datos, asegurar su preservación, así como su accesibilidad. Por ello, la generación de una base de datos gráfica del patrimonio arquitectónico permite servir a múltiples propósitos, como son la catalogación, protección, conservación, restauración o difusión, entre otros, y supone uno de los grandes avances aportados a la representación del patrimonio. Se trata de un campo en constante desarrollo en el que quedan muchas cuestiones por implementar y mejorar, ya que todavía no existe una herramienta colaborativa y eficiente para la gestión del patrimonio histórico que incluya todos los requisitos para la documentación gráfica. El uso

combinado de software y herramientas ad-hoc, sigue siendo la mejor solución debido a las características individuales del patrimonio.

Respecto a las tecnologías analizadas para la gestión de modelos 3D, el uso de la tecnología WebGL como medio para la difusión de modelos a través de la web aporta la capacidad de crear grandes repositorios útiles a nivel divulgativo, pero son limitados para almacenar y gestionar gran volumen de información orientado a la conservación del patrimonio arquitectónico.

Por el contrario, los beneficios de la tecnología BIM para el modelado paramétrico, así como para el uso de la semántica, han quedado reflejados en las propuestas metodológicas expuestas. Sin embargo, se ha puesto de manifiesto como las características únicas del patrimonio histórico hacen necesario un enfoque distinto en la producción de los modelos geométricos 3D. Frente a la industrialización y la estandarización de la nueva construcción, se requiere una segmentación semántica diferente y una definición de atributos no estandarizados adaptados a las irregularidades.

En relación a los SIG, sus funcionalidades de edición de modelos 3D están limitadas, por lo que requiere de la utilización de software externo. En general, es más maduro que las aplicaciones BIM desde la perspectiva de base de datos y análisis de información relativa al patrimonio cultural. La diferenciación de capas temáticas y la gestión de atributos, facilitan la consulta y visualización de conceptos temáticos en formatos 2D, 3D y 4D en un entorno espacial. Se trata de un enfoque prometedor para la administración de todo tipo de información: texto, imágenes, tablas, etc., relacionadas sobre un mismo modelo semántico 3D. Sin embargo, para la gestión de un proyecto de conservación o intervención y la creación de información detallada de los componentes y estructura de objetos de construcción, no se pueden realizar únicamente mediante sistemas SIG debido a su complejidad.

Las tecnologías BIM y SIG son aplicables correctamente en propósitos específicos, pero no solucionan ellas solas por completo todas las necesidades del patrimonio relacionadas con la conservación e intervención (ver comparativa de ambas tecnologías en Tabla 3). La integración de ambas favorece la creación de una base de datos completa capaz de gestionar modelos 3D enriquecidos semánticamente en un entorno espacial (Saygi et al., 2013). Para ello, el uso de estándares de

Criterios de gestión	BIM	SIG
Definición de relaciones jerárquicas	▼	▲
Gestión de atributos	▼	▲
Funcionalidades de edición 3D	▲	▼
Funcionalidades de consulta: espacial y multicriterio	▼	▲
Representación de capas temáticas en 3D	▼	▲
Representación temporal 4D	▲	▼

Tabla 3: Comparación de las distintas tecnologías analizadas para la gestión de modelos semánticos 3D del patrimonio arquitectónico

Fuente: Elaboración propia

intercambio de datos como IFC (Industrial Foundation Class) y CityGML (City Geography Markup Language) son de vital importancia. Se han desarrollado plataformas que integran HBIM/SIG como la denominada PINTA (San José-Alonso et al., 2009), Siarch3D-Univaq (Centofanti et al., 2012), más recientemente CHIMERA (Bruno et al., 2020) y protocolos de integración aplicados a la Gran Torre de Oristano (Vacca et al., 2018), o en el caso de estudio de San Pietro al Monte (Barazzetti et al., 2021).

El patrimonio arquitectónico se estudia desde una visión global a diferentes escalas y distintas perspectivas: territoriales, urbanísticas, ambientales, económicas, sociales, sus propiedades individuales o sus cambios temporales; todos ellos esenciales para entender el patrimonio en su contexto, como un entramado de relaciones con el entorno en el que se implanta y necesarias para abordar su conservación. El patrimonio se debe considerar no como un ente aislado, sino como un elemento integral e integrado con relaciones espaciales, históricas, visuales y territoriales, encuadradas dentro de un sistema cultural. Por ello, la integración de las tecnologías BIM y SIG es el enfoque adecuado para alcanzar este objetivo.

Cómo citar este artículo/How to cite this article:
 Quintilla-Castán, M. y Agustín-Hernández, L. (2023). Metodologías para el desarrollo de una base de datos gráfica del patrimonio arquitectónico. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 12(23), 99-111. doi: <https://doi.org/10.18537/est.v012.n023.a08>.

5. Referencias bibliográficas

- Achille, C., Tommasi, C., Rechichi, F., Fassi, F. y De Filippis, E. (2019). Towards an advanced conservation strategy: a structured database for sharing 3d documentation between expert users. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2(W15), 9-16. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w15-9-2019>
- Apollonio, F. I., Benedetti, B., Gaiani, M. y Baldissini, S. (2011). Construction, Management and Visualization of 3D Models of Large Archeological and Architectural Sites for E-Heritage GIS Systems. *XXIIIrd International CIPA Symposium* (1-8). Università di Bologna. <https://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/3141>
- Apollonio, F. I., Basilissi, V., Callieri, M., Dellepiane, M., Gaiani, M., Ponchio, F., Rizzo, F., Rubino, A. R., Scopigno, R. y Sobra, G. (2018). A 3D-centered information system for the documentation of a complex restoration intervention. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 89–99. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2017.07.010>
- Apollonio, F. I., Gaiani, M. y Bertacchi, S. (2019). Managing cultural heritage with integrated services platform. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2(W11), 91–98. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-91-2019>
- Armisén Fernández, A., García Fernández-Jardón, B., Mateos Redondo, F. J., Valdeón Menéndez, L. y Rojo Álvarez, A. (2016). Plataforma virtual para el diseño, planificación, control, intervención y mantenimiento en el ámbito de la conservación del patrimonio histórico "petrobim". *Congreso Euro-Americano Rehabend* (p. 199). Universidad de Cantabria-Universidad de Burgos. https://www.rehabend.unican.es/2018/01_Inicio/Ediciones%20Anteriores/REHABEND2016/Libro_Rehabend2016.pdf
- Armisén Fernández, A., Agustín, L., ... y Soto, A. (2018). BIM aplicado al patrimonio cultural. *Building SMART Spanish Chapter: Documento 14*. Building Smart Spain.
- Banfi, F. (2019). The integration of a scan-To-HBIM process in BIM application: The development of an add-in to guide users in Autodesk Revit. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2(W11), 141–148. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-141-2019>
- Barazzetti, L. y Roncoroni, F. (2021). Generation of a Multi-Scale Historic BIM-GIS with Digital Recording Tools and Geospatial Information. *Heritage*, 4(4), 3331-3348. <https://doi.org/10.3390/heritage4040185>
- Brand3D LLC. (2022). p3d.in. <https://p3d.in/>
- Brumana, R., Della Torre, S., Previtali, M., Barazzetti, L., Cantini, L., Oreni, D. y Banfi, F. (2018). Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention—the Basilica di Collemaggio (L'Aquila). *Applied Geomatics* 10, 545–567. <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0233-3>
- Bruno, N., Rechichi, F., Achille, C., Zerbi, A., Roncella, R. y Fassi, F. (2020). Integration of historical GIS data in a HBIM system. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B4-2020, 427–434. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-427-2020>
- Calle, J., Martínez, R., Delgado, F. J., Finat, J. y Hurtado, A. (2010). Towards an integration of documentation, information and management systems in a common framework. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-4(W13). https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-W13/ID_63.pdf
- Canciani, M., Ceniccola, V., Messi, M., Saccone, M. y Zampilli, M. (2013). A 3D GIS method applied to cataloging and restoring: The case of Aurelian walls at Rome. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5(W2), 143–148. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-143-2013>

- Centofanti, M., Continenza, R., Brusaporci, S. y Trizio, I. (2012). The architectural information system SIARCH3D-UNIVAQ for analysis and preservation of architectural heritage. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-5, 9-14.
- Cesium GS (2022). *Cesium*. <https://cesium.com/>
- Crytek GmbH (2022). *CryEngine Versión 5.7 LTS*. <https://www.cryengine.com/>
- De Luca, L., Busayarat, C., Stefani, C., Véron, P. y Florenzano, M. (2011). A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage. *Computers & Graphics* 35(2), 227-241. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2010.11.009>
- Dell'Unto, N., Landeschi, G., Leander Touati, A.M., Dellepiane, M., Callieri, M. y Ferdani, D. (2016). Experiencing Ancient Buildings from a 3D GIS Perspective: a Case Drawn from the Swedish Pompeii Project. *Journal of Archaeological Method and Theory* 23(1), 73-94. <https://doi.org/10.1007/s10816-014-9226-7>
- Denard, H. (2009). *The London Charter for the Computer-Based Visualization of Cultural Heritage*. King's College London.
- Di Benedetto, M., Ponchio, F., Malomo, L., Callieri, M., Dellepiane, M., Cignoni, P. y Scopigno, R. (2014). Web and Mobile Visualization for Cultural Heritage. En M. Ioannides y E. Quak (Eds.), *3D Research Challenges in Cultural Heritage. Lecture Notes in Computer Science*, (pp. 18-35). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44630-0_2
- Dore, C., Murphy, M., Mccarthy, M., Casidy, C. y Dirix, E. (2015). Structural Simulations and Conservation Analysis -Historic Building Information Model (HBIM). *ISPRS-The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5(W4), 351-357. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-351-2015>
- Dudek, I. y Biais, J. Y. (2005). From artefact representation to information visualisation: Genesis of informative modelling. En A. Butz, B. Fisher, A. Krüger, y P. Olivier (Eds.), *Smart Graphics. Lecture Notes in Computer Science*, (pp. 230-236). Springer. https://doi.org/10.1007/11536482_21
- Epic Games, Inc. (2022). *Unreal Engine 5*. <https://www.unrealengine.com/en-US>
- Fabiani, F., Grilli, R. y Musetti, V. (2016). Verso nuove modalità di gestione e presentazione della documentazione di restauro: SICAR web la piattaforma in rete del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo. *Bollettino Ingegneri, Collegio degli Ingegneri della Toscana*, (3), 3-13. <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/bolling%2Ffallegati-articoli%2FjpdFAtP7ERJBzRdaQ-Grilli%20web.pdf>
- Fassi, F., Achille, C., Mandelli, A., Rechichi, F. y Parri, S. (2015). A new idea of BIM system for visualization, web sharing and using huge complex 3d models for facility management. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5(W4), 359-366. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-359-2015>
- Fassi, F., Fregonese, L., Adami, A. y Rechichi, F. (2017). BIM system for the conservation and preservation of the mosaics of San Marco in Venice. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2(W5), 229-236. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-229-2017>
- Forte, M., Dell'Unto, N., Jonsson, K. y Lercari, N. (2015). Interpretation Process at Çatalhöyük using 3D. En I. Hodder y A. Marciniak (Eds.), *Assembling Çatalhöyük - EAA - Themes in Contemporary Archaeology*, (pp. 43-58). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9781351190992>
- Iadanza, E., Maietti, F., Ziri, A. E., Di Giulio, R., Medici, M., Ferrari, F., Bonsma, P. y Turillazzi, B. (2019). Semantic web technologies meet BIM for accessing and understanding cultural heritage. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2(W9), 381-388. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-381-2019>
- Maietti, F., Medici, M., Ferrari, F., Ziri, A.E. y Bonsma, P. (2018). Digital Cultural Heritage: Semantic Enrichment and Modelling in BIM Environment. En M- Ioannides (Ed.), *Digital Cultural Heritage. Lecture Notes in Computer Science*, (pp. 104-118). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75826-8_9
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>
- Nieto Julián, J. E., Moyano Campos, J. J., Rico Delgado, F. y Antón García, D. (2016). Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling. *Virtual Archaeology Review*, 7(14), 1-12. <https://doi.org/10.4995/var.2016.4349>
- Nieto Julián, J. E. y Moyano Campos, J. J. (2014). El Estudio Paramental en el Modelo de Información del Edificio Histórico o "Proyecto HBIM". *Virtual Archaeology Review*, 5(11), 73-85. <https://doi.org/10.4995/var.2014.4183>
- Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Barazzetti, L. y Previtali, M. (2014). Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5, 267-273. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-267-2014>
- PlayCanvas Ltd. (2022). *PlayCanvas 3D engine*. <https://playcanvas.com/>
- Potenziani, M., Callieri, M., Dellepiane, M., Corsini, M., Ponchio, F. y Scopigno, R. (2015). 3DHOP: 3D Heritage

- Online Presenter. *Computers & Graphics*, (52), 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.07.001>
- Potree (2022). *WebGL point cloud viewer for large datasets*. <https://potree.github.io/>
- Principios de Sevilla. (2011). *International Principles of Virtual Archaeology*. INNOVA / SEAV.
- Quintilla-Castán, M. (2021). HBIM para el inventario del patrimonio arquitectónico. En I. Oliver Faubel y B. Fuentes Giner (Eds.), *EUBIM 2021 – BIM International Conference* (pp. 39-49). Editorial Universitat Politècnica de Valencia. <http://doi.org/10.4995/EUBIM2021.2021.13968>
- Rechichi, F., Mandelli, A., Achille, C. y Fassi, F. (2016). Sharing high-resolution models and information on web: the web module of BIM3DSG System. *ISPRS- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, 703–710. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-703-2016>
- Salonia, P. y Negri, A. (2003). Historical buildings and their decay: data recording, analysing and transferring in an ITC environment. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIV(5/W12), 302–306.
- San José Alonso, J. I., Finat, J., Pérez-Moneo, J. D., Fernández Martín, J. J. y Martínez Rubio, J. (2009). Information and knowledge systems for integrated models in cultural heritage. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Proceedings of the 3rd *ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2009*, XXXVIII-5(W1).
- Saygi, G. y Remondino, F. (2013). Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-Art and Future Perspectives. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(4), 695–713.
- Schütz, M. (2016). *Potree: Rendering Large Point Clouds in Web Browsers*. [Tesis doctoral, Faculty of Informatics at the Vienna University of Technology]. <https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2016/SCHUETZ-2016-POT/>
- Scopigno, R., Callieri, M., Dellepiane, M., Ponchio, F. y Potenziani, M. (2017). Delivering and using 3D models on the web: are we ready? *Virtual Archaeology Review*, 8(17), 1–9. <https://doi.org/10.4995/var.2017.6405>
- Sketchfab Inc. (2022). *Sketchfab 3D/VR viewer*. <https://sketchfab.com/>
- Smithsonian Institution (2022). *Smithsonian 3D Digitization*. <https://3d.si.edu/>
- Three.js (2022). *JavaScript library Three.js*. <https://threejs.org/>
- Unity Technologies (2022). Versión 2022.1.7 LTS. <https://unity.com/es>
- Vacca, G., Quaquero, E., Pili, D. y Brandolini, M. (2018). GIS-HBIM integration for the management of historical buildings. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII–2, 1129–1135.
- Visual Computing Lab - ISTI – CNR (2022). *3DHOP, 3D Heritage Online Presenter 4.3*. <https://3dhop.net/>
- Von Schwerin, J., Richards-Rissetto, H., Remondino, F., Agugiaro, G. y Girardi, G. (2013). The MayaArch3D project: A 3D WebGIS for analyzing ancient architecture and landscapes. *Literary and Linguistic Computing*, 28(4), 736–753. <https://doi.org/10.1093/lc/fqt059>