

Metodología de captura y procesado para el desarrollo de una base de datos gráfica 3D del patrimonio arquitectónico

Marta Quintilla Castán, Luis Agustín Hernández

Resumen: La documentación del Patrimonio requiere una representación ordenada de la información almacenada, debido a la diversidad de disciplinas que intervienen en el sector, con campos altamente especializados, que afecta a la comunicación entre los diferentes agentes que intervienen en los procesos de documentación. La recopilación, clasificación, análisis y presentación de la información precisa del empleo de protocolos para ordenar y utilizar de forma comprensible y coherente. Por ello, la propuesta metodológica plantea la definición de unas pautas generales para realizar la captura y el procesado de la información generada, con el fin de desarrollar una base de datos gráfica que permita representar a través de un modelo 3D la información relativa al patrimonio arquitectónico. La documentación, organizada bajo un modelo de datos común, facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada, y su posterior gestión.

Palabras clave: modelo 3D, patrimonio arquitectónico, base de datos, nube de puntos, segmentación, anotación

Capture and processing methodology for the development of a 3D graphic database of architectural heritage

Abstract: Heritage documentation requires an orderly representation of the information stored, due to the diversity of disciplines involved in the sector, with highly specialized fields and that affects communication between the different agents that intervene in the documentation processes. The collection, classification, analysis and presentation of the information, requires the use of protocols to order and use it in a comprehensible and coherent way. For this reason, the methodological proposal suggests the definition of some general guidelines to carry out the capture and processing of the information generated, in order to develop a graphical database that allows to represent through a 3D model, the information related to the architectural heritage. The documentation, organized under a common data model, facilitates the interoperability and accessibility of the archived information, and its subsequent management.

Keywords: 3D model, architectural heritage, database, pointcloud, segmentation, annotation

Metodologia de captura e processamento para o desenvolvimento de uma base de dados gráfica 3D do património arquitectónico

Resumo: A documentação do património exige uma representação ordenada da informação armazenada, devido à diversidade de disciplinas que intervêm no sector, com campos altamente especializados, que afecta a comunicação entre os diferentes intervenientes nos processos de documentação. A recolha, a classificação, a análise e a apresentação de informações precisas sobre a utilização de protocolos para ordenar e utilizar de forma compreensível e coerente. A proposta metodológica propõe a definição de orientações gerais para a captura e o processamento da informação gerada; a fim de desenvolver uma base de dados gráfica que permita representar, através de um modelo 3D, a informação relativa ao património arquitectónico. A documentação, organizada segundo um modelo de dados comum, facilita a interoperabilidade e a acessibilidade das informações arquivadas, bem como a sua posterior gestão.

Palavras-chave: Modelo 3D, património arquitectónico, banco de dados, nuvem de pontos, segmentação, anotação

Introducción

La recopilación, clasificación, análisis y presentación de la información requiere del empleo de protocolos para ordenar y utilizar de forma comprensible y coherente. Para que el modelo 3D sea una herramienta efectiva para el estudio de los diferentes actores que intervienen en el patrimonio, como arquitectos, arqueólogos, historiadores, ingenieros o conservadores, debe ser capaz de almacenar distintos tipos de información variada en múltiples formatos. Por ello, el empleo de un modelo de datos común facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada y su uso por parte de diferentes actores para múltiples y variados usos.

La difusión del Patrimonio Cultural en las últimas décadas ha ido ligado al desarrollo de las herramientas informáticas utilizadas por los investigadores para la visualización y gestión de la información, influyendo en la metodología de trabajo, ya que permite generar mayor documentación con gran precisión, que debe ser almacenada y gestionada de un modo rápido, accesible y sencillo.

Esto ha originado que la documentación establecida de manera tradicional (planos, fotografías...) se vea complementada con una representación espacial y virtual del objeto. Los beneficios obtenidos son tan numerosos, que en la actualidad la restauración de bienes patrimoniales conlleva la obligación de la obtención de un modelo 3D, que permitirá volcar en él datos provenientes de la investigación. Para ello, se precisa la utilización de técnicas de captura de información geométrica como la fotogrametría y el escaneado láser 3D.

En la primera sección se detallan distintas técnicas de captura de información de datos volumétricos que otorgan información geométrica y capacidad de medición del objeto a estudiar, pasando por exponer los distintos productos obtenidos tras la fase de adquisición, que permiten representar gráficamente el edificio. A continuación, se describen los distintos aspectos a tener en cuenta para realizar un correcto procesado del modelo para su posterior integración en un Sistema de Información. La tecnología necesaria para implementar esta base de datos o catálogo, debe incluir la toma en consideración de estándares relacionados con el patrimonio cultural,

los sistemas de información geográfica y los sistemas de documentación, además del uso de ontologías específicas relacionadas con el patrimonio arquitectónico y cuyo fin es facilitar la interoperabilidad de la web semántica.

Establecidos los estándares y vocabularios, se procede a la segmentación y clasificación del modelo mediante la estructuración de relaciones jerárquicas y el enriquecimiento semántico, o sea la definición del significado de los conceptos, que permiten una administración eficiente de la información almacenada. El modelo se completa con el proceso de anotación, que permite enlazar información entre el modelo geométrico e información complementaria asociada a él, para a continuación poder ser analizada.

Una vez tenidas en cuenta las distintas herramientas, se habrá adquirido el conocimiento necesario para establecer un protocolo o metodología adecuada para el desarrollo de una base de datos gráfica, que permita el inventario del patrimonio arquitectónico. El resultado es un modelo que, bajo un soporte común de conocimiento, permite incluir y relacionar información referida a él. Pero para poder hacer uso de esa información, el proceso se completará posteriormente con la inclusión del modelo en un Sistema de Gestión, capaz de realizar análisis y consultas. Para ello, existen diversas propuestas metodológicas como HBIM, SIG, visores desarrollados para WebGL o software específico de inventariado, cuya finalidad es la integración, procesado y análisis de los materiales disponibles durante todo el ciclo de vida del edificio, así como favorecer la interoperabilidad de la información entre distintas bases de datos [Figura 1].

Base tecnológica para la captura

Los modelos de información requieren unas características especiales para su uso por parte de los diferentes tipos de usuarios que intervienen en el patrimonio. Para obtener la información base con la que comenzar a trabajar, se utilizan técnicas de adquisición como la fotogrametría terrestre o aérea de baja cota y el escáner láser que implican la obtención de grandes volúmenes de datos en poco tiempo, con gran resolución y detalle. La elección de las distintas técnicas de captura se adapta a las condiciones

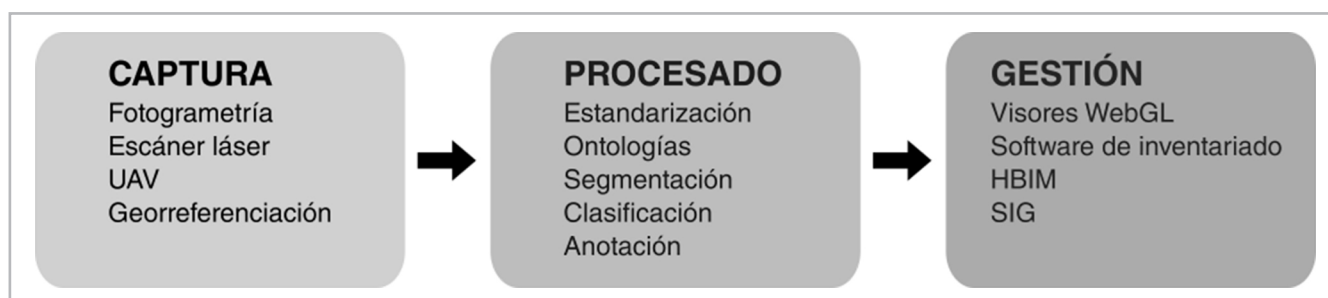


Figura 1.- Esquema para la creación de un modelo 3D completo del patrimonio arquitectónico.

del objeto a capturar, a los instrumentos que están al alcance, su coste y al tipo de documentación a obtener tras el procesado de la información, aunque parece razonable la utilización de técnicas mixtas.

Las técnicas de adquisición han influido en el flujo de trabajo que ha de realizarse para llevar a cabo los levantamientos, estos cambios implican a su vez una evolución en los resultados obtenidos ya que deben administrar gran cantidad de datos que deben mostrarse de un modo eficaz, rápido, preciso y sin pérdida de información.

—Técnicas de captura de datos

Existen distintas técnicas para realizar la captura de datos del patrimonio arquitectónico que han ido evolucionando a lo largo del tiempo. Estos cambios han ido ligados al desarrollo de los medios, instrumentos y tecnologías, que se han ido adaptando a las necesidades que requerían los nuevos métodos de representación y levantamiento [Figura 2].

Seguidamente se pasan a detallar las técnicas más utilizadas en el ámbito del patrimonio, además de ser las empleadas para llevar a cabo la propuesta metodológica que se expondrá en capítulos posteriores, por su accesibilidad, coste y facilidad de uso.

— 1. Fotogrametría

La fotogrametría permite obtener la información tridimensional de un objeto mediante el uso de la

fotografía, que permite medir sobre ellas, convirtiendo a la fotografía en un sistema de medida. Históricamente la fotogrametría ha consistido en la comparación de puntos homólogos a través de pares de fotografías “homólogas”, que comparten dichos puntos desde posiciones diferentes, la estereoscopia. Inicialmente se restituían estos pares homólogos con restituidores analógicos, muy utilizados en cartografía. Con la incorporación de la fotografía digital, se pasó a aplicar esta razón trigonométrica a través de aplicaciones informáticas en las que se señalaban puntos homólogos. En la actualidad con la técnica, SfM (Structure from motion) la correlación es automática, localizando un pixel y su valor RGB, haciéndolo único al considerar los valores RGB de los puntos circundantes, lo que permite enlazar estos puntos homólogos sobre el software, este hecho repetido millones de veces nos proporciona nubes de puntos de gran calidad y definición.

Se puede clasificar la fotogrametría en función de la ubicación del sensor en la toma fotográfica, diferenciándose en terrestre y aérea. La opción de poder registrar datos en tomas aéreas, mediante el uso de fotografías o láser, permite abarcar grandes superficies de terreno y zonas de difícil acceso, consiguiendo levantamientos rápidos y homogéneos. Por el contrario, la toma fotográfica terrestre en ocasiones conlleva inconvenientes al encontrarse con elementos que interfieren en la vista o que ocultan otros elementos, al igual que se produce otro tipo de obstrucciones en las tomas aéreas, así como a menudo una exactitud menor debido a la lejanía del objeto y la oblicuidad de la toma, especialmente en cascos urbanos. Esta tecnología basada en la captura masiva de puntos (pixels), debe complementarse con la toma de puntos a través de

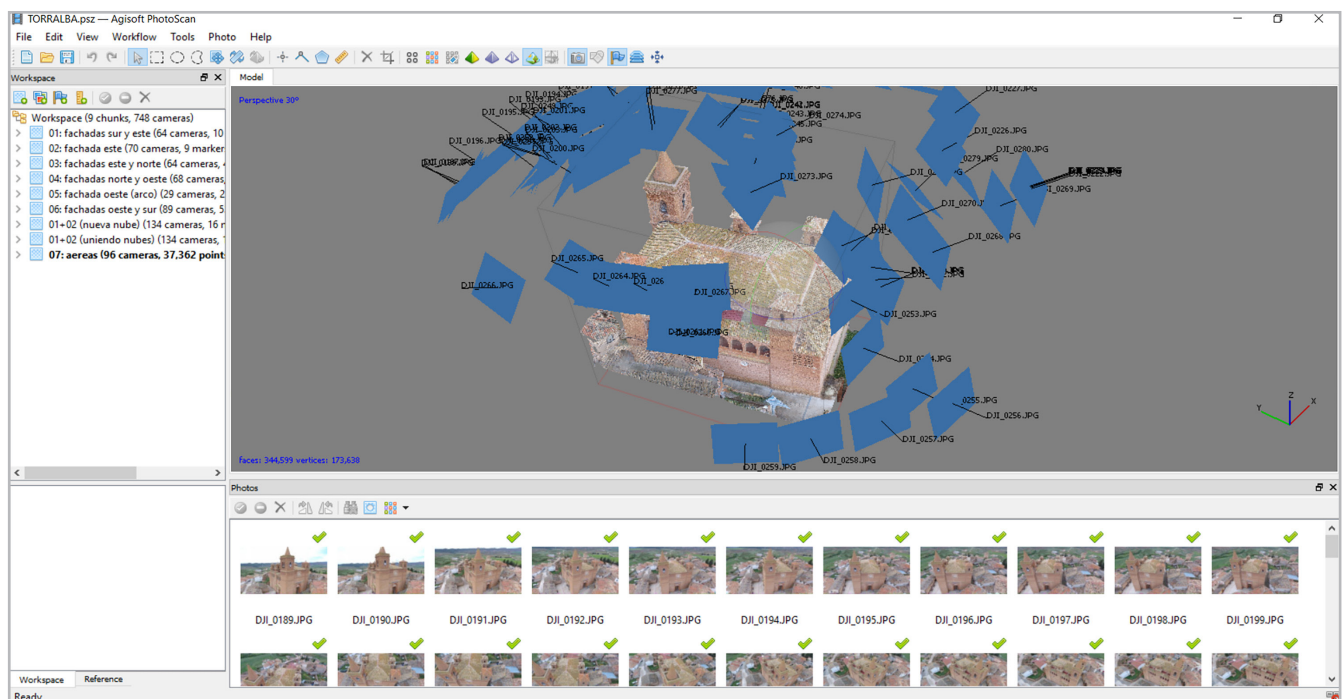


Figura 2.- Iglesia de San Félix en Torralba de Ribota (Zaragoza), estilo Gótico Mediterráneo, Mudéjar Aragonés. Toma de datos realizada mediante Fotogrametría. Fuente: Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Zaragoza.

“estación total”, donde de forma manual podemos capturar las coordenadas de puntos concretos, que podrían servirnos para restituir objetos de geometrías sencillas o escalar las nubes de puntos obtenidas desde la fotogrametría.

— 2. Lidar

El LIDAR (Light Detection And Ranging) es una técnica de teledetección que incluye un dispositivo con un sensor óptico, generalmente aerotransportado, que emite rayos láser hacia un objeto o superficie para determinar la distancia entre el emisor y el objeto. La medición se efectúa registrando el tiempo consumido entre la emisión del pulso láser y su regreso al efectuarse la señal reflejada denominada esta técnica por tiempo de vuelo, complementaria de la conocida como de cambio de fase, entre el rayo incidente y el rayo reflejado. La combinación de estos datos con información geográfica GPS (Global Positioning System) del dispositivo e INS (Sistemas de Navegación Inercial), plan de vuelo, se transforman en medidas precisas de puntos tridimensionales del objeto reflector. Posteriormente, se procesan los datos de cada punto, a los que se asignan coordenadas x, y, z georreferenciadas, tras ser analizados los datos de rango de tiempo de láser, ángulo de escaneo, información del INS y posición del GPS.

Las técnicas LIDAR permiten obtener una nube densa de puntos con resoluciones milimétricas en comparación con otras técnicas de levantamiento, convirtiéndolas en una de las técnicas más utilizadas en el campo del patrimonio cultural.

En función del tipo de dispositivo se pueden diferenciar varios tipos de escáneres láser: Aéreos, con fines cartográficos o zonas con dificultad de acceso, escáner láser terrestre (TLS) adecuado para registrar la documentación del patrimonio y escáner láser de mano, para mediciones más cercanas con mayor detalle o de pequeños objetos.

— 3. UAV

Recientemente ha proliferado la utilización de vehículos aéreos no tripulados (UAV), conocidos como drones, para su uso en la captura de datos, debido a su facilidad de uso y su capacidad de acceso a zonas que no permiten las adquisiciones por medios manuales. La capacidad de control remoto del vuelo, el bajo coste, la alta resolución y la rapidez de adquisición son algunas de las características que han favorecido su empleo en el campo del patrimonio arquitectónico, aunque debe de tenerse en cuenta la legislación vigente, que en el caso español obliga a notificarlo a la agencia española de seguridad aérea, a la policía nacional o guardia civil, según su jurisdicción y a la policía local, así como la existencia de dos pilotos titulados, mantener siempre la visual del dron, paracaídas de emergencia, seguros y demás permisos que garanticen

en todo momento la inalterabilidad del bien cultural, independientemente de las circunstancias.

Este tipo de vehículos permiten montar diferentes tipos de tecnologías para la toma de datos, como sensores LIDAR, cámaras fotográficas de alta resolución para fotogrametría, sensores térmicos, cámaras de video o cualquier tipo de sensor que cumple los requisitos de dimensión y carga.

— 4. Georreferenciación

Los modelos 3D obtenidos tras la utilización de las citadas técnicas, necesitan incorporar información relativa a la escala (en el caso de la fotogrametría) y orientación, para completar así un modelo geométrico preciso que se pueda georreferenciar y por tanto posicionar geográficamente. De este modo, se ubican en un sistema de referencia común que permite representarlos en su contexto y analizar las relaciones espaciales con otros objetos, en forma, tamaño y posición.

En función del tipo de geometría que se debe georreferenciar, así como las exigencias en las mediciones que se desean obtener, la elección de la técnica a utilizar varía. Por ello, se han de tener en cuenta una serie de requisitos para seleccionar el método de georreferenciación más adecuado en cada momento. En primer lugar, se debe delimitar la precisión requerida para los trabajos a llevar a cabo, el tiempo disponible para la fase de medición, los costos de los instrumentos y del software de procesado y finalmente la accesibilidad del objeto a medir. La valoración de estos factores facilitará la selección de la técnica adecuada en relación a las necesidades específicas de cada proyecto.

— Productos obtenidos como resultado de la captura

Una vez obtenidos los datos mediante la utilización de las herramientas expuestas en el apartado anterior, el siguiente paso es determinar el tipo de producto que se desea obtener para mostrar la información del modo más adecuado a las necesidades específicas. Algunos de los métodos de representación más utilizados en el campo del patrimonio arquitectónico para el intercambio de información son:

La nube de puntos: Es el primer producto que se obtiene tras el procesado de los datos obtenidos de la ejecución de las técnicas anteriormente expuestas. Es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas de referencia tridimensional X, Y, Z, que describen la posición en el espacio de puntos que representan la superficie externa de un objeto, así como información relativa a su color, en coordenadas RGB, o la reflectividad del material.

Tras la fase de adquisición, se obtienen nubes de puntos densas, que han de ser procesadas para optimizarse, reducir

el ruido y mejorar la calidad. Mediante el tratamiento de las nubes de puntos se generan productos que se pueden utilizar como base para otros pasos de procesamiento:

Mallas 3D: Una vez obtenida la nube de puntos se pueden revisar y texturizar directamente, pero también se puede procesar para convertirla en una superficie tridimensional formada por pequeños planos poligonales, triangulares o modelos de superficie NURBS para ser utilizadas por algunas de las aplicaciones más frecuentes. Existen varias técnicas para transformar la nube de puntos en una malla tridimensional, como la triangulación de Delaunay, las formas alfa o el algoritmo de Marching cubes [Figura 3].

Modelos Digitales del Terreno (DEM): Son puntos que representan valores de altura en una dirección seleccionada, estructurados por lo general según una cuadrícula regular. Se suelen representar en formatos ráster, donde cada valor se almacena en un pixel que corresponde a un punto de la nube. Las nubes de puntos son una de las fuentes de datos utilizado por los Sistemas de Información Geográfica para construir modelos digitales del terreno, ya que permiten análisis de datos ráster y vectoriales.

Ortoimagen: Es una representación bidimensional del objeto escaneado, cuya perspectiva y deformaciones han sido rectificadas. Es un producto métrico enriquecido con información temática, que permite tomar medidas en verdadera magnitud, sobre geometrías ubicadas en planos paralelos al de proyección. Se puede utilizar como base para el trazado de dibujos tradicionales en 2D.

Dibujos técnicos: Se elaboran a través de los Modelos de CAD (computer-aided design o Diseño asistido por ordenador)

obtenidos mediante un proceso de reconstrucción bidimensional, sobre el modelo tridimensional, para la obtención de “planos”, plantas, alzados secciones detalles, etc. Los dibujos tradicionales 2D siguen siendo la base de los proyectos de restauración y conservación del patrimonio arquitectónico.

Mapas de deformaciones: Mediante el uso de software, se puede aplicar patrones cromáticos a la nube de puntos para resaltar deformaciones sobre las superficies. Se emplean para realizar análisis y comparar discrepancias entre un modelo teórico y el modelo escaneado, por ejemplo, se utilizan el caso de deformaciones estructurales o desplomes.

Recursos multimedia y realidad virtual: Las nuevas tecnologías permiten generar recursos para comunicar diferentes tipos de información a un público muy variado. La calidad de la resolución de las nubes de puntos con imágenes HDR, High Dynamic Range (alto rango dinámico), al modificar la luminancia en las zonas oscuras de sombra y las zonas más expuestas, ofrecen un aspecto “hiperrealista” que facilita su incorporación a recursos multimedia de visualización como la realidad virtual, a través de recorridos virtuales por la nube de puntos.

Base tecnológica para el procesado del modelo

Cuando se trabaja con grandes volúmenes de información, es primordial crear una estructura capaz de mostrar los datos de un modo organizado y accesible para consulta. La documentación del Patrimonio requiere una representación ordenada de la información almacenada, debido a la diversidad de disciplinas que intervienen en el sector,

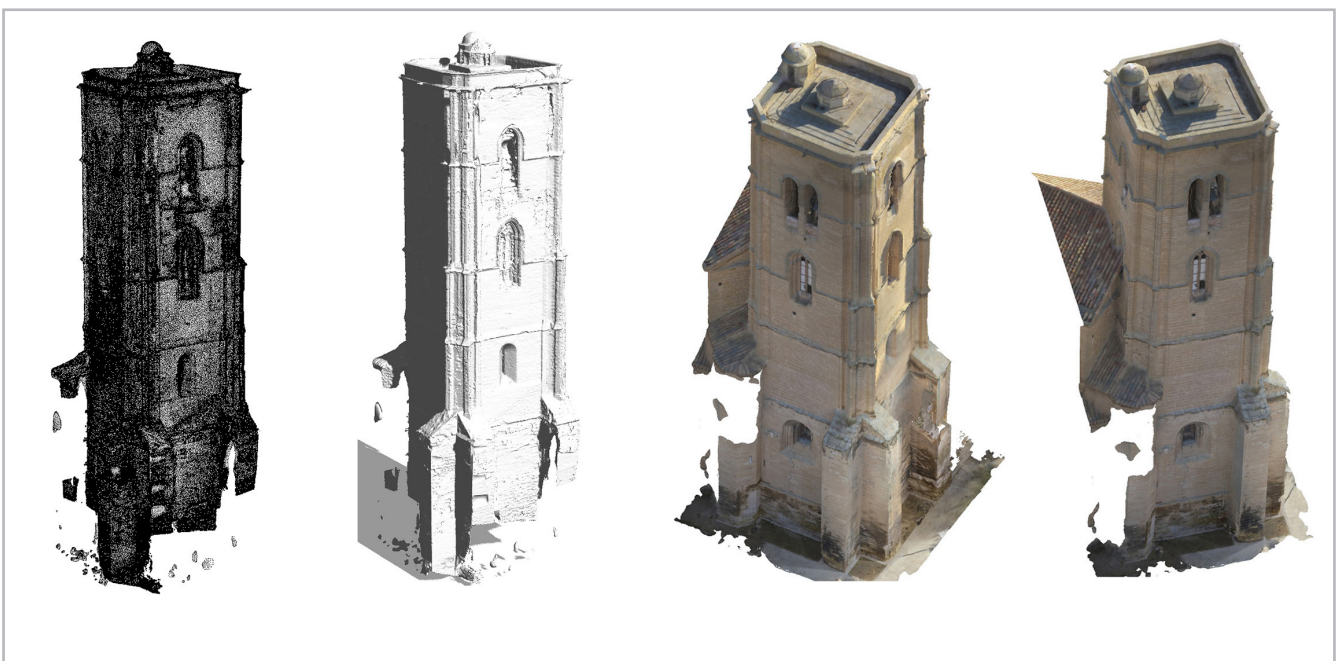


Figura 3.- Distintos tipos de productos generados tras la obtención de la nube de puntos. Ejemplo de modelo de nube de puntos, malla y texturizado de la Torre Gótica de Alcañiz (Teruel). Fuente: Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Universidad de Zaragoza.

con campos altamente especializados, que afecta a la comunicación entre los diferentes agentes que intervienen en los procesos de documentación.

El empleo de un modelo de datos común facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada. El sector se caracteriza por la dificultad de integración de esquemas para asociar información complementaria entre varios sistemas, situación que se puede solventar gracias a la utilización de normas internacionales relacionadas con el ámbito de la representación del patrimonio arquitectónico, que permiten la vinculación de vocabularios específicos y el uso de ontologías formales [Figura 4].

— Estandarización

El patrimonio cultural requiere de la utilización de bases de datos como instrumento para gestionar e inventariar la información. La recopilación, clasificación, análisis y presentación de la información precisa del empleo de

protocolos para ordenar y utilizar de forma comprensible y coherente. Por ello, el empleo de un modelo de datos común facilita la interoperabilidad y la accesibilidad a la información archivada y su uso por parte de diferentes actores para múltiples y variados usos.

Los riesgos asociados a la normalización del patrimonio cultural se centran en la pérdida de información asociada al bien. El desarrollo de estándares y normas nacionales e internacionales tienen como fin crear bases de datos compatibles y consistentes para facilitar el intercambio de información, mediante el uso de tecnologías informáticas que resultan necesarias para gestionar grandes cantidades de datos almacenados bajo estructuras complejas. De este modo, se proporciona y garantiza la pervivencia y la migración de datos sin riesgos a largo plazo, a pesar de la evolución tecnológica y la implantación de nuevos sistemas que reemplacen a los antiguos.

Para permitir la interoperabilidad entre las bases de datos, existe una serie de normas internacionales relacionadas con el ámbito de la representación del patrimonio cultural y en concreto el

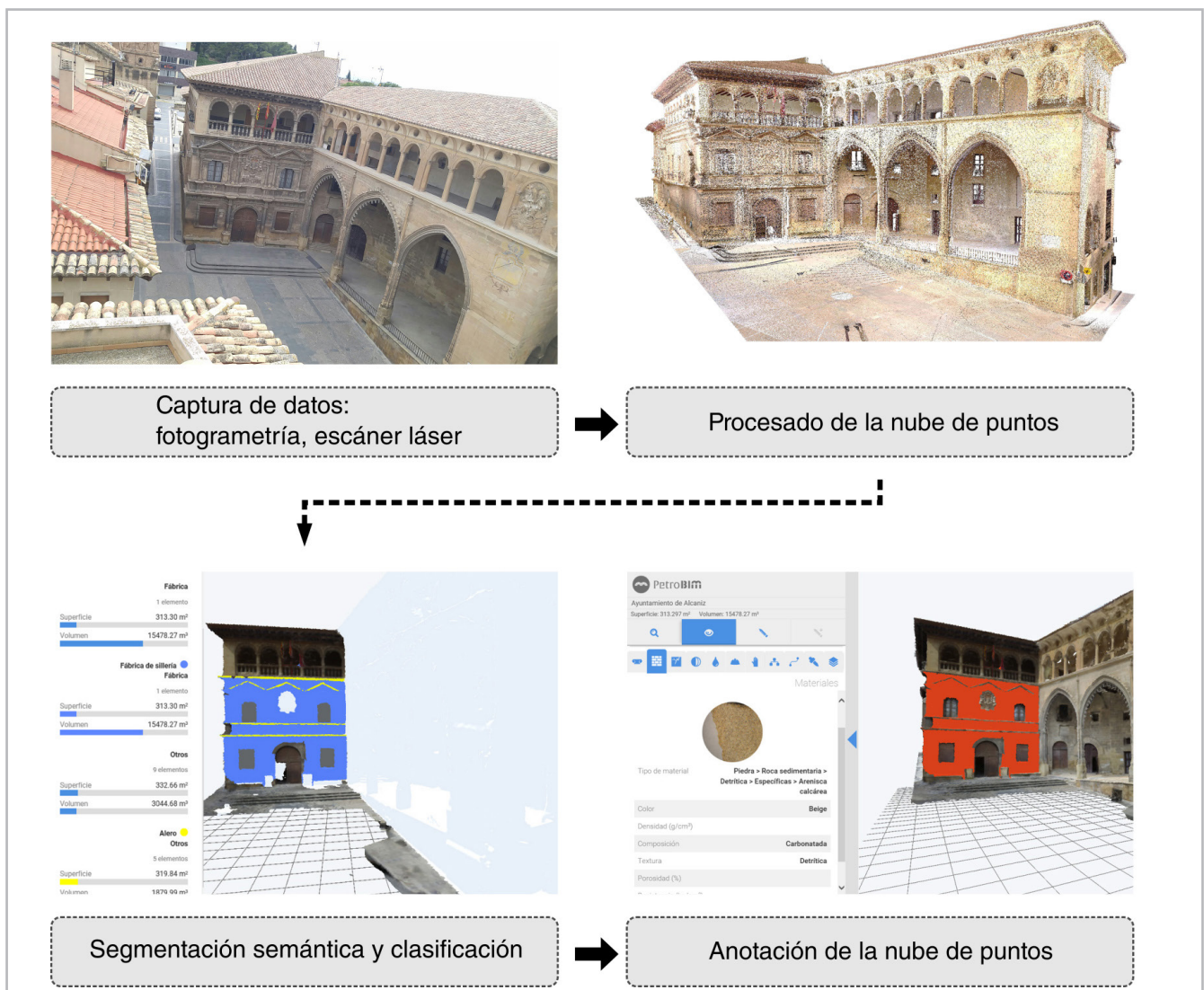


Figura 4.- Descripción general de la metodología propuesta. Fuente: Elaboración propia.

patrimonio arquitectónico, que permiten la vinculación de vocabularios específicos y que se deben considerar para la realización del modelo 3D y su posterior difusión.

El “Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage” es un estándar elaborado por el Consejo de Europa y el Getty Information Institute en 1992 con el fin de facilitar la documentación y estandarización de monumentos arquitectónicos, basado en la comparación de distintos métodos de inventariado usados en varios países.

El índice busca ser un sistema flexible que permita a las organizaciones actuar en campos específicos de su interés. No desea establecer especificaciones tecnológicas, sino aportar unas primeras recomendaciones de estándares técnicos para la captura e intercambio de datos.

El estándar fue desarrollado en paralelo a otro estándar básico como el “Core Data Standard for Archaeological Sites and Monuments” (1995), y cuya misión es complementar al Core Data Index to Historic Buildings and Monuments of the Architectural Heritage con el fin de facilitar la integración de ambos en una única base de datos.

En el ámbito de la documentación del patrimonio, se deben integrar estándares internacionales de inventariado y documentación, para realizar una gestión útil de todos los datos generados e implementados por parte de todas las disciplinas.

Para la consecución de estos objetivos, fue creada la norma ISO 15489 para la Gestión Documental. Se compone de dos partes, la primera contempla un ámbito más genérico, donde se definen los conceptos básicos, principios y requisitos de la gestión de documentos, con el fin de asegurar la protección de la información y que esta pueda ser recuperada de un modo eficaz. La segunda parte, es un informe técnico enfocado a la definición metodológica de la implementación de los contenidos expuestos en la primera parte de la norma, donde se establecen directrices que dan forma a los procesos e instrumentos de gestión de documentos, así como a la necesidad de utilización de metadatos para la gestión de los documentos electrónicos y los requisitos que deben cumplir (Alonso, García-Alsina y Lloveras 2007).

Una buena gestión documental es la base para asegurar el mantenimiento de las bases de datos a lo largo del tiempo, preservar la información y que esta esté disponible para su uso e integración por parte de cualquier organización que lo requiera. Por ello, la implementación de la normativa aporta mayor eficiencia a la hora de plantear una propuesta metodológica para la representación del patrimonio arquitectónico.

— *Ontologías para la gestión del patrimonio cultural*

En el ámbito de patrimonio cultural, las nuevas tecnologías permiten producir grandes cantidades de información relacionadas con la representación digital de objetos. Estos

se almacenan en Sistemas de Información para poder ser gestionados por las instituciones o investigadores y poder ser accesibles también al público general. Debido a la diversidad de disciplinas que intervienen en el sector, con campos altamente especializados, la interoperabilidad entre sistemas y la accesibilidad tienen una demanda creciente. El sector se caracteriza por la dificultad de integración de esquemas para asociar información complementaria entre varios sistemas, situación que se puede solventar gracias a la utilización de ontologías formales (Doerr 2009).

Las ontologías estudian el objeto tal como es, frente a cómo se percibe, con el fin de definir una categorización y las relaciones entre sus términos, para favorecer la comunicación entre personas, organizaciones y aplicaciones, así como lograr una cierta interoperabilidad entre diferentes propuestas de catálogo.

Las ontologías, o definición formal de tipos, propiedades, y relaciones entre estas, desempeñan un papel fundamental en las tecnologías de la información, como estructura clave tanto para la interoperabilidad de las bases de datos como para la recuperación de la información (Laurini 2015). Los objetivos fundamentales de las ontologías son (Guizzardi 2010) el razonamiento automatizado y la interoperabilidad semántica, basada en su uso como modelo de referencia, lo cual es considerado fundamental para las necesidades de interoperabilidad de bases de datos y recuperación de información en la Web Semántica.

Para lograr la interoperabilidad semántica, es necesario establecer una ontología que maximice la claridad conceptual para permitir la comunicación, la resolución de problemas y armonizar puntos de vista y terminologías heterogéneas (Laurini 2012).

Un campo esencial a tener en cuenta en las plataformas web enfocadas a la difusión del patrimonio, es la utilización de modelos semánticos, Open Semantic Web technologies, para hacer un uso más efectivo de los recursos y mayor velocidad de visualización, resolviendo problemas de interoperabilidad entre modelos 3D y el software asociado (Apollonio et al. 2011). La web permite la explotación de grandes volúmenes de datos heterogéneos, que requieren una correcta interpretación para ser publicados. Las herramientas disponibles esenciales para el desarrollo de la Web Semántica son las ontologías y los modelos de datos estándar, que especifican de manera inequívoca la estructura de los datos y prescriben cómo deben interpretarse (Noardo 2016).

Existen varias ontologías que tratan conceptos o entidades, que podrían ser considerados para algunos aspectos del estudio del patrimonio arquitectónico.

La principal ontología utilizada para la gestión de la documentación del patrimonio cultural es CIDOC-CRM “CIDOC Conceptual Reference Model”, desarrollado por

el CIDOC Documentation Standards Working Group. Desde 2006 está reconocido como estándar internacional ISO21127:2014.

CIDOC-CRM es compatible con otros vocabularios como los elaborados por el Getty Institute. El tesoro de Arte y Arquitectura (AAT) elaborado por el Getty Institute, se usa para proveer la infraestructura semántica, proporcionando una ontología para el intercambio de información del patrimonio cultural y la integración de fuentes heterogéneas. Específicamente destinado a cubrir la información contextual, como los antecedentes históricos, geográficos y teóricos, se compone de términos para ser usados en la descripción, acceso e intercambio de información de objetos relacionados con el arte y la arquitectura.

— Segmentación y clasificación

Para una administración eficiente de la información almacenada en modelos 3D hay que tener en consideración métodos de segmentación y clasificación, mediante la estructuración de relaciones jerárquicas y el enriquecimiento semántico. El proceso de segmentación se realiza agrupando datos con propiedades similares, asociadas a regiones del modelo. Una vez finalizado, se procede a la clasificación mediante su etiquetado semántico. Existen múltiples procedimientos para realizar la labor de segmentación de las nubes de puntos, los principales son: mediante el proceso de segmentación de bordes, regiones, descomposición del modelo en formas primitivas o enfoques de aprendizaje automático, en los que el modelo no es sólo segmentado, sino que también es clasificado semánticamente.

Se puede definir la segmentación semántica como un subconjunto funcional o una subdivisión estructural en partes que se define sobre una forma dada, en definitiva, es una agrupación de puntos de la nube, que comparten una identidad semántica, puede ser estilística, por el material representado, temporal, etc. En la literatura se han presentado muchos métodos para la caracterización y segmentación de formas "semi" automáticas. Éste último utiliza algoritmos de inteligencia artificial que permiten a los ordenadores tomar decisiones basados en datos empíricos y aprendidos. Estos algoritmos proporcionan una partición del modelo 3D en partes basadas en criterios relacionados con la forma y se centran en cómo producir la segmentación, en lugar de la tarea de asociar una etiqueta o datos semánticos con esas partes. Esta segmentación, a menudo concebida como una descomposición estructural, depende principalmente de las características de forma inherentes de la malla, o de interpretaciones funcionales de las partes o componentes, en lugar de un proceso impulsado por el usuario. La segmentación automática puede centrarse en componentes estructurales, así como en características mucho más finas, los metadatos se pueden definir en cada uno de sus subcomponentes (por

ejemplo, peso, material, ID de la parte, función, enlaces a datos externos). El método posee ventajas como la reducción del tiempo de clasificación, la replicabilidad del aprendizaje a otros edificios del mismo periodo histórico, así como la visualización de la clasificación sobre el modelo 3D (Grilli y Remondino 2019).

— 1. Pre-procesado de la nube de puntos

Para comenzar el proceso de segmentación, es necesario preparar la nube de puntos previamente, para adaptar el conjunto de datos de una manera eficiente a la segmentación (Malinverni et al. 2019). En primer lugar, se realiza la operación de normalización para posibilitar el renderizado de varias escenas de manera similar. A continuación, se georreferencia la nube de puntos y se hace una traslación para mover el origen de coordenadas al punto (0, 0, 0). En general, se trabaja con nubes de puntos muy grandes, difíciles de gestionar, siendo en ocasiones necesario el submuestreo para poder manejarlas. En el caso de trabajar con segmentación automática, como Deep learning, se debe realizar una selección de funciones, para facilitar que la red neuronal aprenda de ellas y mejore el rendimiento general.

— 2. Métodos de segmentación

La segmentación es el proceso de agrupación de regiones homogéneas de datos que tienen propiedades en común, en función de algún criterio establecido. Existen distintas formas de clasificar los métodos de segmentación y múltiples metodologías, algunas de las cuales se describen a continuación (Grilli y Remondino 2019).

La segmentación basada en la delimitación de bordes, consiste en detectar los bordes de diferentes regiones para posteriormente agrupar puntos dentro de los límites. Estos bordes se definen mediante puntos donde sus propiedades exceden del umbral dado. Las propiedades de superficie más utilizadas son normales, gradientes, curvaturas o derivadas de orden superior. Este método supone un proceso de segmentación rápido, pero produce resultados incorrectos.

Los métodos basados en regiones consisten en la agrupación de puntos con características similares que funcionan con algoritmos de crecimiento. La segmentación comienza con uno o varios puntos con características similares, que crece alrededor de puntos vecinos hasta delimitar regiones con las mismas propiedades, como la orientación de la superficie o la curvatura.

El método basado en modelos, descompone el objeto en formas geométricas primitivas, como cilindros, esferas o planos, que se ajustan a las formas del modelo 3D. El método a veces se ve limitado para formas complejas o procesos automatizados requiriendo el uso de

descriptores locales para proporcionar una solución más adecuada. Alguno de los algoritmos más utilizados en esta metodología son Hough Transform (HT) y Random Sample Consensus (RANSAC).

Las técnicas descritas se consideran los métodos clásicos de segmentación, sin embargo, para modelos complejos es necesario recurrir a métodos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, que además de segmentar el modelo también lo clasifican.

Machine Learning es un método que, mediante la utilización de algoritmos de inteligencia artificial, permite a los ordenadores tomar decisiones basadas en datos empíricos entrenados y aprendidos. La guía en el proceso de segmentación mejora los resultados futuros gracias al aprendizaje iterativo, pero requiere un gran esfuerzo de retroalimentación. Por otro lado, Deep Learning se puede considerar una evolución del Machine Learning. Sus algoritmos están estructurados en capas para crear una red neuronal artificial que puede aprender y tomar decisiones inteligentes por sí sola (Grilli, Özdemir y Remondino 2019), sin la necesidad de información contextual inicial.

Dentro de estos métodos se pueden diferenciar varios tipos de enfoques en función de los algoritmos empleados para realizar el aprendizaje automático. El enfoque supervisado emplea un conjunto de datos previamente anotados que se utilizan para entrenar al modelo y proporcionar una clasificación semántica de todo el conjunto. Uno de los algoritmos más utilizados es Random Forest. Un enfoque no supervisado segmenta automáticamente el modelo según unos parámetros establecidos por el usuario sin la necesidad de realizar anotaciones previas, agrupando objetos homogéneos en clústeres según características predefinidas, como el empleado por el algoritmo K-means. La utilización de los métodos descritos en el ámbito del patrimonio histórico supone un reto, cada edificio es único, compuesto por elementos irregulares, difíciles de estandarizar, parametrizar y segmentar. Estas barreras morfológicas se benefician de métodos como Machine Learning para acelerar la segmentación y la clasificación, reduciendo tiempos de clasificación, favoreciendo la replicabilidad del entrenamiento en edificios de características similares o la visualización de los resultados sobre el modelo 3D.

— 3. Definición de clases

Una vez realizado el proceso de segmentación, el siguiente paso es la clasificación de las diferentes partes en que se ha dividido el modelo 3D, bajo una estructura jerárquica semántica. Previamente a la segmentación se debe desarrollar una ontología adaptada a la tipología de edificio a representar para que sea lo más específica posible y permita la clasificación pormenorizada de todos los niveles de detalle que se establezcan para la representación de la entidad.

La clasificación consiste en los siguientes pasos: definición de una ontología, asignación de clases, cálculo de características, entrenamiento de modelos y predicción. El proceso de definición de clases comienza asignando un valor para la etiqueta que clasifica el objeto segmentado previamente. En los métodos que usan Machine Learning, durante la fase de entrenamiento, el algoritmo aprende de estos nodos de decisión y los conecta a una ontología previamente diseñada. Mediante la corrección y repetición se consigue el aprendizaje y una correcta clasificación [Figura 5].

El objetivo final es obtener un modelo segmentado y rico en clases y propiedades que permita capturar cada grado de granularidad requerido para la descripción de modelos 3D, para su posterior enriquecimiento con anotaciones y obtener así un repositorio completo que permita realizar consultas y gestionar información de forma organizada (Quattrini, Pierdica y Morbidoni 2017).

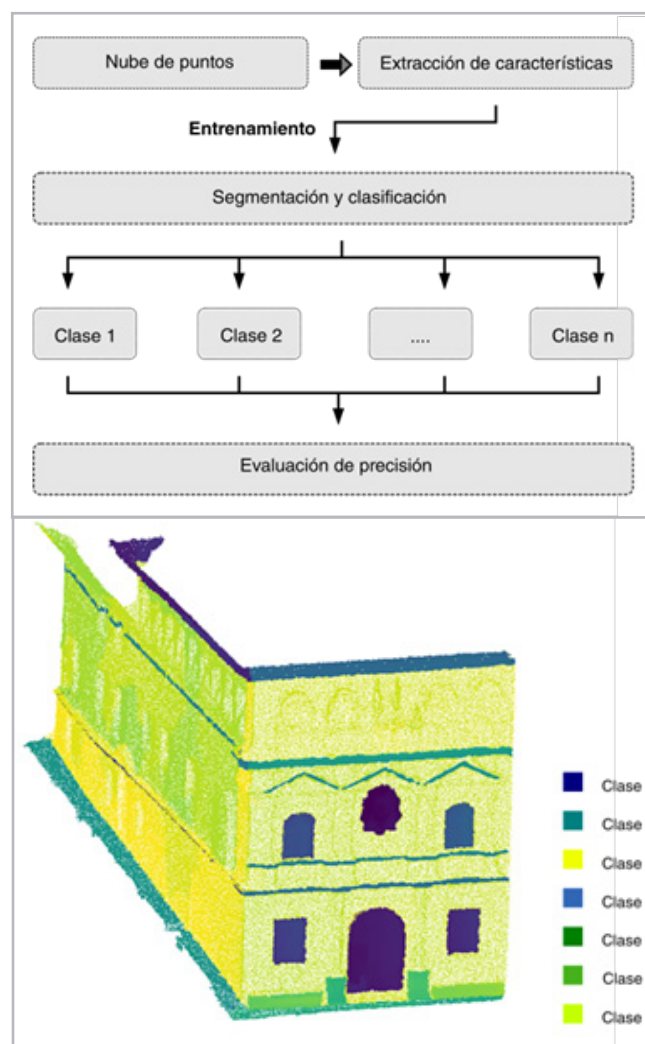


Figura 5.- Flujo de trabajo del proceso de segmentación y clasificación de la nube de puntos mediante metodología de aprendizaje automático. Ejemplo de la fachada del Ayuntamiento de Alcañiz (Teruel), en el que la nube de puntos se ha dividido y clasificado en distintos componentes arquitectónicos. Fuente: Elaboración propia.

— Anotación

Para que el modelo 3D sea una herramienta efectiva para el estudio de los diferentes actores que intervienen en el patrimonio, como arquitectos, arqueólogos, historiadores, ingenieros o conservadores, debe ser capaz de almacenar distintos tipos de información variada en múltiples formatos. Para poder cumplir este objetivo, es necesario enlazar la información entre el modelo geométrico y la información complementaria asociada a él, para a continuación poder ser analizada. El término técnico para definir esta acción es denominado anotación, y se refiere al proceso de relacionar una parte del modelo geométrico 3D a cierta información relacionada (Ponchio *et al.* 2019). Para ello, el procedimiento conlleva una doble acción: la selección de una ubicación – región sobre la superficie del modelo 3D y la definición de un vínculo entre el elemento espacial y los datos estructurados o no estructurados.

Se pueden distinguir dos conceptos de anotación:

- Segmentación semántica: El modelo 3D, previamente al proceso de anotación, ha sido segmentado y dividido mediante una jerarquía estructural en sub-partes, a las que se enlazan los correspondientes metadatos, por ejemplo, identificación, material o función.
- Caracterización dirigida por el usuario: cada región anotada es seleccionada por criterios e interpretaciones establecidos por el usuario y está vinculada a algún tipo de información complementaria. Por ejemplo, una región afectada por humedades o un daño sobre la superficie del edificio.

Durante el proceso de investigación y análisis del patrimonio arquitectónico, se generan grandes cantidades de información y documentación heterogénea. Para organizar la información jerárquicamente, se utiliza la anotación para convertir el marco sintáctico en la estructuración del conocimiento. Se pueden distinguir cuatro niveles de enriquecimiento semántico en función de su complejidad (Andrews, Zaihrayev y Pane 2012): etiquetas, atributos, relaciones y ontología. Las etiquetas representan la forma más sencilla de anotación, mientras las ontologías representan la más compleja.

En ocasiones debido al lenguaje empleado por el usuario al establecer las anotaciones, se pueden identificar problemas de polisemia, sinónimos, falta de especificidad o variaciones en la forma base. La solución a esta cuestión puede ser abordada mediante la utilización de un Sistema de Organización del Conocimiento, como un glosario, taxonomía, tesoro o base de datos léxica como las descritas en apartados anteriores.

Una de las fases principales en el proceso de implementación de anotaciones sobre el modelo 3D, es la de seleccionar el elemento geométrico al que vincular la información. Una anotación se puede asociar a diferentes geometrías para caracterizar sub-conjuntos del objeto de interés. El punto se utiliza para enlazar una anotación a una única posición puntual del modelo 3D, mientras que una polilínea sobre la superficie identifica estructuras lineales. Mediante la definición de áreas irregulares sobre una superficie, se asocia una anotación a una región.

Existen distintos enfoques respecto a la implementación de las anotaciones, debido a las diferentes tipologías de entrada

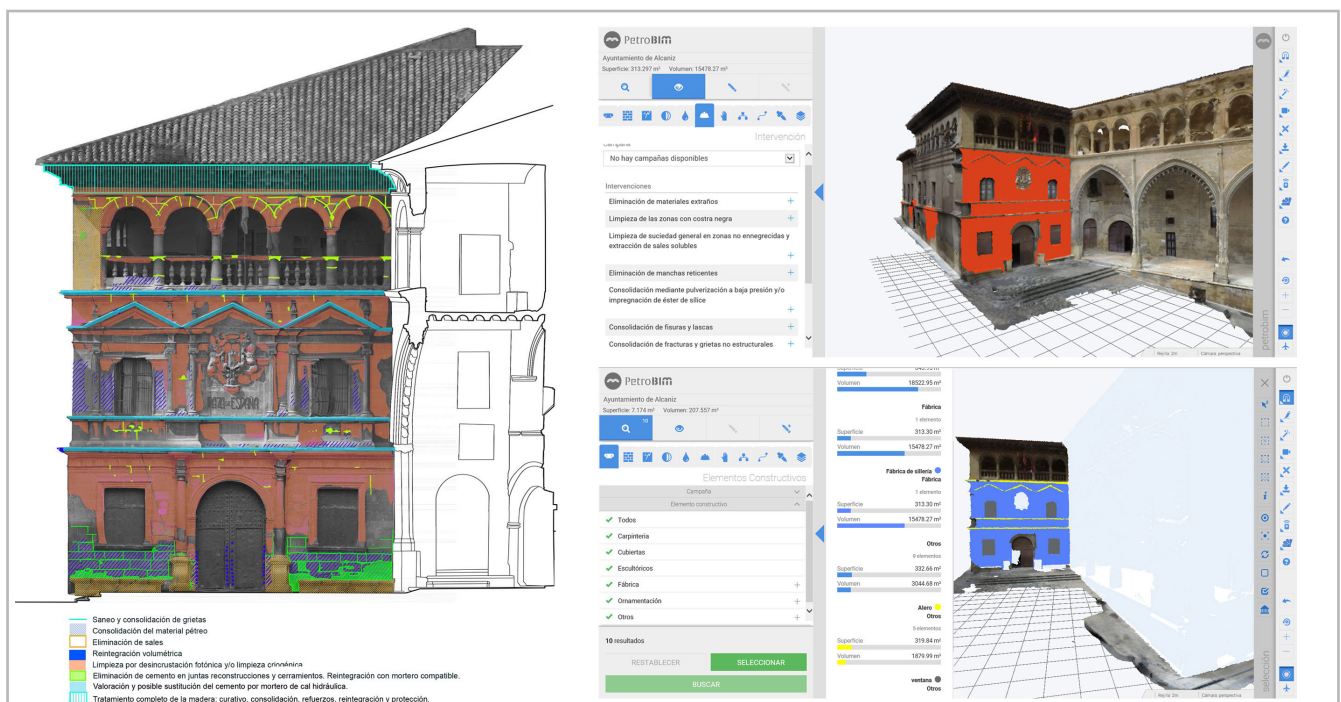


Figura 5.- Inserción de información relativa al estado de conservación de la fachada del Ayuntamiento de Alcañiz (Teruel) en el modelo 3D mediante el proceso de anotación de la nube de puntos, tras haber realizado un proceso de segmentación previo. Fuente: Elaboración propia.

y estructuras de datos (Ponchio *et al.* 2019). En función del tipo de soporte usado como medio de anotación se pueden distinguir la siguiente clasificación:

- Anotación sobre superficies 2D: La anotación se realiza sobre representaciones bidimensionales.
- Anotación sobre superficies 3D: El usuario realiza las anotaciones directamente sobre el modelo 3D.
- Híbrido 2D-3D: Las anotaciones se dibujan en medios bidimensionales, que se proyectan al modelo 3D.

También se puede clasificar en función del grado de automatización, siendo manual, semi-automático o automático. El método más extendido es la anotación manual, ya que permite un mayor control por parte del usuario, sin embargo, las últimas investigaciones están encaminadas a fomentar la anotación automática, ya que el proceso manual adolece del consumo de tiempo y de la dependencia y habilidades del usuario (Croce *et al.* 2020).

La utilización del proceso de anotación como medio de inclusión de información complementaria al modelo 3D, ofrece numerosas ventajas para la documentación del patrimonio arquitectónico [Figura 6]. Una de las principales características es la gestión de múltiples capas temáticas de información sobre el modelo, que se superponen propiciando la organización y la no duplicidad de datos. A su vez, se posibilita la representación de diferentes estados temporales bajo un mismo modelo, el análisis cruzado de información y una organización semántica basada en el uso de ontologías como mecanismo de gestión de la información de manera unívoca.

Conclusiones

La propuesta metodológica presentada, propone definir unas pautas generales para realizar la captura y el procesado de la información generada con el fin de desarrollar una base de datos gráfica para representar a través de un modelo 3D la información relativa al patrimonio arquitectónico.

Una vez finalizada la captura y procesado del modelo, el siguiente paso para realizar el inventario del patrimonio es introducir el modelo 3D en un Sistema de Información Integral, capaz de administrar el conocimiento, la integración de materiales disponibles, así como el procesamiento y análisis de dichos materiales bajo un soporte común. Aunque la edición del modelo digital superficial como método general para optimizar la transmisión de la información resulta escasa, en la línea de investigación de los autores se está trabajando con modelos sólidos en BIM (Building Information Modeling), en concreto HBIM (Heritage/Historic Building Information Models), pero resulta costoso por no haber un traslado automático o semiautomático, para edificios con geometrías complejas. Por lo que la malla texturizada proveniente de nube de puntos proporciona un modelo fiable, que enriquecido con los datos y la segmentación aporta un avance considerable. La finalidad es servir de

apoyo a la toma de decisiones relacionadas con el modelo y simultáneamente, servir a múltiples propósitos de la catalogación, como la protección, restauración, conservación, planeamiento o educación.

Desde un punto de vista crítico, la propuesta expuesta para generar una base de datos de edificios de valor patrimonial, propone un cambio del punto de vista de las bases tradicionales, asignando los datos a la geometría del edificio, lo que supone un cambio de paradigma, puesto que representa los datos sobre el edificio virtual. Esta incorporación todavía presenta problemas de índole tecnológico, de accesibilidad o de interoperabilidad, pero presenta la gran ventaja de que los datos permanecerán en el tiempo y se irá mejorando el soporte tridimensional, enriqueciendo sus funciones.

La difusión del Patrimonio en las últimas décadas ha ido ligado al desarrollo de las herramientas informáticas utilizadas por los investigadores para la visualización y gestión de la información, influyendo en la metodología de trabajo. Las técnicas de adquisición han influido en el flujo de trabajo que ha de realizarse para llevar a cabo los levantamientos. Estos cambios implican a su vez una evolución en los productos obtenidos como resultado de la captura, ya que deben administrar gran cantidad de datos que deben mostrarse de un modo eficaz, rápido, preciso y sin pérdida de información. Por ello, cuando se trabaja con grandes volúmenes de información, es primordial crear una estructura capaz de mostrar los datos de un modo organizado y accesible para consulta. Los Sistemas de documentación han ido evolucionando hacia tecnologías desarrolladas con software de código abierto, el uso de estándares, ontologías y la estructuración de la información y del propio modelo 3D bajo una jerarquía semántica. De este modo se favorece la interoperabilidad entre bases de datos y se asegura el mantenimiento de las aplicaciones a largo plazo, sin grandes inversiones y asegurando la accesibilidad de distintos tipos de usuarios.

Agradecimientos

Deseamos agradecer a los compañeros Angélica Fernández y Miguel Sancho pertenecientes al grupo GIA (Grupo de Investigación en Arquitectura) de la Universidad de Zaragoza, por su labor durante el proceso de toma de datos y elaboración de los modelos.

Referencias

- ALONSO, J. A., GARCÍA-ALSINA, M., LLOVERAS, M. R. (2007). "La norma ISO 15489: un marco sistemático de buenas prácticas de gestión documental en las organizaciones". *Revista de Biblioteconomía i Documentació*, 47: 41–70. <http://eprints.rclis.org/12263/>
- ANDREWS, P., ZAIHAYEU, I., PANE, J. (2012). "A classification of semantic annotation systems". *Semantic Web*, 3(3): 223–248. <https://doi.org/10.3233/SW-2011-0056>

APOLLONIO, F. I., BENEDETTI, B., GAIANI, M., BALDISSINI, S. (2011). "Construction, Management and Visualization of 3D Models of Large Archeological and Architectural Sites for E-Heritage GIS Systems". In *XXIIIrd International CIPA Symposium*, September 12 - 16, 2011. Prague, Czech Republic. <http://amsacta.unibo.it/3141/>

CACCIOTTI, R., VALACH, J., KUNES, P., ČERŇANSKÝ, M., BLÁŠKO, M., KRĚMEN, P. (2013). "Monument damage information system (MONDIS): an ontological approach to cultural heritage documentation". *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, II-5/W1, 55-60. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-55-2013>

CERUTTI, E., NOARDO, F., SPANÒ, A. (2015). "Architectural heritage semantic data managing and sharing in GIS". *GISTAM 2015 - 1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, Proceedings*. Barcelona: SciTePress, 121-128. <http://doi.org/10.5220/0005387801210128>

CROCE, V., CAROTI, G., DE LUCA, L., PIEMONTE, A., VÉRON, P. (2020). "Semantic annotations on heritage models: 2D/3D approaches and future research challenges". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2, 829-836. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-829-2020>

DOERR, M. (2009). "Ontologies for cultural heritage". En *Handbook on Ontologies*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 463-486. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_21

GRILLI, E., REMONDINO, F. (2019). "Classification of 3D Digital Heritage". *Remote Sensing*, 11(7): 847. <https://doi.org/10.3390/rs11070847>

GRILLI, E., ÖZDEMİR, E., REMONDINO, F. (2019). "Application of machine and deep learning strategies for the classification of heritage point clouds". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W18: 447-454. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-447-2019>

GUIZZARDI, G. (2010). "On the Representation of Quantities and their Parts in Conceptual Modeling". *Proceedings of the 2010 conference on Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010)*. NLD: IOS Press, 103-116. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1804715.1804728>

LAURINI, R. (2012). "Importance of spatial relationships for geographic ontologies". *Seventh International Conference on Informatics and Urban and Regional Planning INPUT 2012*, May 2012, Cagliari, Italy, 122-134. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01353047>

LAURINI, R. (2015). "Geographic Ontologies, Gazetteers and Multilingualism". *Future Internet*, 7(1): 1-23. <https://doi.org/10.3390/fi7010001>

MALINVERNI, E. S., PIERDICCA, R., PAOLANTI, M., MARTINI, M., MORBIDONI, C., MATRONE, F., LINGUA, A. (2019). "Deep learning for semantic segmentation of 3D point cloud". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 735-742. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-735-2019>

NOARDO, F. (2016). *Spatial ontologies for Architectural Heritage*. Doctoral dissertation, PhD thesis. Politecnico di Torino, tutors A. Spanò, A. Lingua.

OGC - OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Editors: Gröger G., Kolbe T.H., Nagel C., Häfele K.H. <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>

PONCHIO, F., CALLIERI, M., DELLEPIANE, M., SCOPIGNO, R. (2019). "Effective Annotations Over 3D Models". *Computer Graphics Forum*, 39: 89-105. <https://doi.org/10.1111/cgf.13664>

QUATTRINI, R., PIERDICCA, R., MORBIDONI, C. (2017). "Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web". *Journal of Cultural Heritage*, 28: 129-139. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2017.05.004>

SNAVELY, N., SEITZ, S. M., SZELISKI, R. (2006). "Photo tourism: exploring photo collections in 3D". *ACM transactions on graphics*, 25(3): 835-846. <https://doi.org/10.1145/1141911.1141964>

Autor/es



Marta Quintilla Castán

mquintilla@unizar.es

Escuela de Arquitectura e Ingeniería (EINA),
Universidad de Zaragoza (UZ)

<https://orcid.org/0000-0002-2308-752X>

Arquitecta, profesora asociada del Área de Expresión Gráfica Arquitectónica de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza. Su actividad profesional enfocada en el ámbito de la edificación ha sido premiada y publicada en numerosos libros y revistas de arquitectura tanto nacionales como internacionales. Compatibiliza la labor profesional con la investigación orientada a la aplicación de los nuevos medios informáticos para la restitución y difusión del patrimonio arquitectónico. Actualmente se encuentra desarrollando el Doctorado en el Programa "Nuevos Territorios de la Arquitectura" de la Universidad de Zaragoza, con el tema "Inventario Gráfico digital del Patrimonio Arquitectónico".



Luis Agustín Hernández

lagustin@unizar.es

Escuela de Arquitectura e Ingeniería (EINA),
Universidad de Zaragoza (UZ)

<https://orcid.org/0000-0002-0397-9766>

Arquitecto, profesor titular de Escuela Universitaria, responsable del Área de Expresión Gráfica Arquitectónica y Director del Departamento de Arquitectura de la Escuela de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad de Zaragoza. Miembro del grupo de investigación GIA, Grupo de Investigación en Arquitectura, línea GRAPH (Representación en arquitectura y patrimonio histórico). Miembro del Instituto de Patrimonio y Humanidades

de la Universidad de Zaragoza. Realiza trabajo de investigación en dos líneas complementarias, con artículos en revistas indexadas, comunicaciones en congresos, exposiciones internacionales y conferencias internacionales: Estudio de la arquitectura patrimonial trabajos desarrollados en arquitectura gótico mediterránea en la Corona de Aragón, estudios sobre arquitectura Mudéjar y arquitectura contemporánea. Tecnología de la representación arquitectónica, BIM, Fotogrametría, Escáner Laser, realidad virtual y fotorrealística.

Artículo enviado el 14/09/2021
Artículo aceptado el 17/01/2022



<https://doi.org/10.37558/gec.v21i1.1048>