

SIMULACIÓN TRIDIMENSIONAL DE TRES EDIFICIOS UNIVERSITARIOS MEDIANTE MODELOS INTEGRADOS GIS 3D Y BIM – GEMELOS DIGITALES

César A. Carrasco¹, Ignacio Lombillo²,
Mayte Lozano³, Ivan Calvo⁴, Jorge Rodríguez⁵

¹ Grupo en Estructuras Civiles y Edificación de la UNICAN, Santander, España, cesar.carrasco@unican.es

² Grupo en Estructuras Civiles y Edificación de la UNICAN, Santander, España, ignacio.lombillo@unican.es

³ Escuela de Doctorado, Universidad de Cantabria, Santander, España, mayte.lozano@alumnos.unican.es

⁴ Roma S.L., Santander, España, icr@romasl.com

⁵ Escuela de Doctorado, Universidad de Cantabria, Santander, España, jorge.rodriguezra@alumnos.unican.es

Resumen

La visualización virtual en 3D es una de las herramientas que se está implementando de forma acelerada en la industria de la construcción debido a los cambios tecnológicos que se están produciendo en este sector; esto, junto con el trabajo colaborativo, contribuye a una gestión óptima para todas las partes interesadas. Esta investigación pretende contribuir al proceso tecnológico de digitalización 3D de las ciudades y a los procesos de gestión de la información de los edificios que en ellas se encuentran, mediante el uso de herramientas de modelado y gestión digital en 3D. Se propone un proceso de integración de modelos digitales 3D GIS & BIM de tres edificios universitarios de la Universidad de Cantabria, en España, para su aplicación a la gestión de la información mediante la gestión tridimensional (biblioteca digital 3D) de dichos edificios. Los resultados obtenidos demuestran que es posible integrar modelos digitales 3D GIS & BIM mediante mecanismos de enlace simples que no reducen la eficiencia en la sincronización y gestión de la información, dando lugar a una integración de modelos “ligeros” que optimizan el proceso de gestión.

Palabras Clave: Building Information Modeling; Geographic Information System; Digital Twin; Energies management.

1 Introducción

La utilización de plataformas BIM y GIS 3D en la gestión público-privada ha impulsado la adopción de estas tecnologías, tanto de forma individual como integrada (GIS & BIM), en el desarrollo de ciudades inteligentes y edificios digitalizados [1]. Estos modelos se relacionan con el concepto de “gemelo digital”, entendido como una simulación virtual que interactúa con el entorno físico y se actualiza continuamente [2]. Su creación requiere múltiples datos (terreno, edificaciones, infraestructuras y variables ambientales), y su precisión depende del volumen de información y del nivel de detalle aplicado [3, 4]. Sin embargo, la interoperabilidad sigue siendo un reto por incompatibilidades de formatos, lo que exige metodologías de integración más eficientes mediante enlaces ligeros entre BIM y GIS [5]. El GIS 3D permite la navegación virtual y la gestión de datos espaciales y semánticos mediante análisis geográfico, organizando la información en capas y bases de datos vinculadas que facilitan el análisis y la toma de decisiones [6, 7, 8]. Por su parte, BIM es un modelo digital que integra toda la información del edificio a lo largo de su ciclo de vida, favoreciendo la colaboración y la gestión de proyectos en entornos comunes de datos. Además, permite la automatización de documentación y el análisis evolutivo de los elementos constructivos, mejorando la eficiencia en la toma de decisiones. La integración GIS & BIM permite crear plataformas eficientes para la gestión urbana y constructiva [9], combinando información del edificio y su entorno [10, 11]. Para ello, es clave considerar formatos, geometría y semántica, evitando problemas de interoperabilidad [22]. Entre los formatos más utilizados destacan IFC en BIM [5], CityGML en GIS y estándares como INSPIRE y OGC [11, 13, 14, 15], junto con formatos vectoriales y ráster en GIS. La integración también depende de los niveles de detalle. En GIS se emplean los LoD (0–4) -Fig. 1-

, limitados por la complejidad de los datos en niveles altos [11, 16, 17, 18], mientras que en BIM se utilizan los LOD (100–500), que representan la evolución del modelo desde el diseño conceptual hasta el modelo final “as-built” [6, 10, 19, 20, 21].

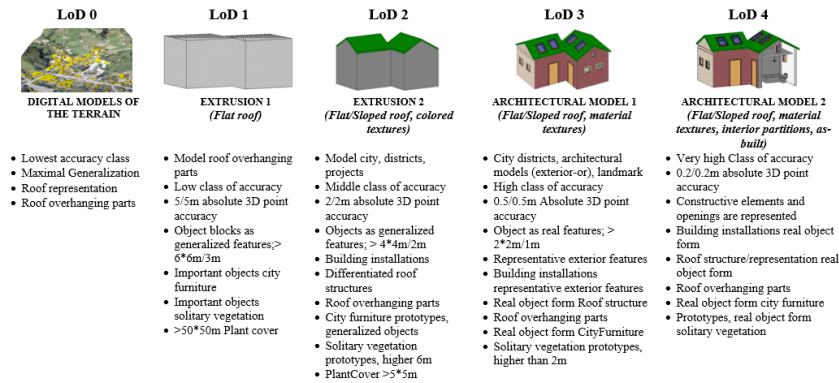


Fig. 1. Características de los niveles de detalles LoD. Elaboración propia. Fuente [1].

2 Metodología

La Fig. 2 muestra la metodología propuesta para la simulación tridimensional en 3 Fases. Consiste en la *creación de los modelos digitales GIS y BIM* (Fase 1), su *integración y alimentación* mediante la información precisa (Fase 2), y finalmente, en desarrollar la *navegación 3D simulando la gestión* de la información de los edificios en un entorno tridimensional integrado (Fase 3).

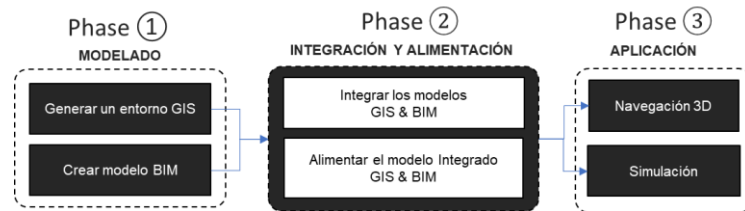


Fig. 2. Esquema de las 3 fases de la metodología

2.1 Fase 1 de la metodología: Modelado

La Fase 1 se divide en 2 etapas, una consistente en la *Creación del entorno GIS-3D del emplazamiento*, y otra en la *creación de los modelos BIM de los edificios*. Para la etapa 1, en la Fig. 3 se propone una metodología basada en 3 pasos.

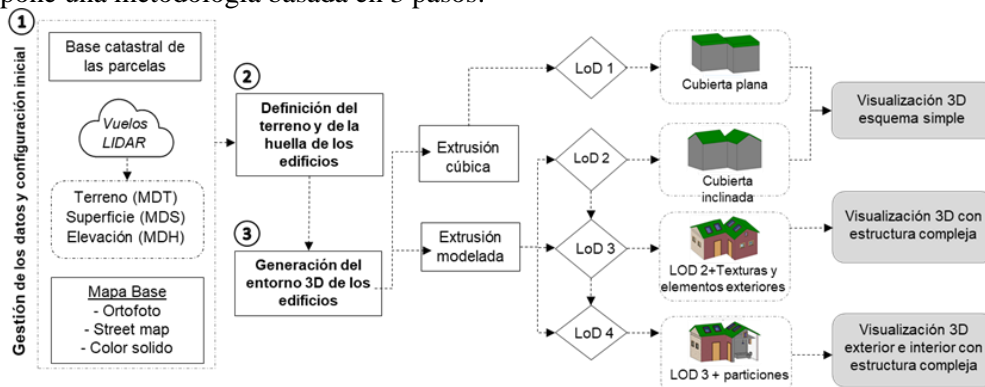


Fig. 3. Metodología a seguir para Creación del entorno GIS-3D del emplazamiento.

El Paso ① consiste en la gestión de datos y configuración inicial. Primero se define el nivel semántico del modelo (nivel de detalle y tipo de terreno), ya que de ello depende la organización del espacio de trabajo. Los datos necesarios incluyen la base catastral de parcelas, con atributos municipales y alturas de edificios, y las nubes de puntos procedentes de vuelos LIDAR. Asimismo,

se configura el mapa base del entorno GIS, que puede ser una ortofoto, un mapa callejero o un lienzo simple, según las necesidades del proyecto. En el Paso ② se define el terreno y la huella de los edificios a partir de la base catastral. Si se desea incorporar el relieve real, se generan el Modelo Digital del Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Superficie (MDS) mediante datos LIDAR. La diferencia entre ambos produce el Modelo Digital de Altura (MDH), utilizado para determinar la altura de edificios y elementos sobre el terreno. El Paso ③ corresponde a la generación del entorno GIS-3D de los edificios según el nivel de detalle (LoD1–LoD4). Para modelos LoD1 se emplean las huellas y atributos catastrales mediante procesos de extrusión. Los niveles LoD2 a LoD4 requieren herramientas ráster y datos MDH para modelar cubiertas y geometrías complejas. En LoD3 se incorporan texturas y elementos exteriores como ventanas y puertas mediante multipath, mientras que LoD4 añade particiones interiores, constituyendo el mayor nivel de complejidad.

La etapa 2, creación de modelos BIM del edificio, se divide en dos pasos. El Paso ① consiste en recopilar información previa y captación de datos: planos, croquis, mediciones, bibliotecas de familias y nubes de puntos obtenidas mediante fotogrametría o escaneo láser LIDAR. Aunque ambas tecnologías generan modelos precisos, el láser escáner destaca por su rapidez y capacidad [22, 23, 24, 25]. En el Paso ② se desarrolla el modelo geométrico BIM mediante software de modelado 3D. Este proceso requiere conocimientos técnicos de construcción y modelado, permitiendo definir materiales, propiedades físicas y elementos constructivos. El objetivo no es solo obtener una representación geométrica, sino generar un modelo inteligente con información paramétrica y descriptiva que funcione como herramienta de conocimiento y gestión del edificio [19, 26].

2.2 Fase 2 de la metodología: Integración y Alimentación del modelo GIS & BIM

Este proceso se desarrolla en cinco pasos: *gestión de plugins de exportación/importación* (Paso 1), *importación de formatos BIM y configuración de capas en el catálogo GIS* (Paso 2), *georreferenciación y aplicación de filtros* (Paso 3), *verificación de tablas de atributos y su enlazabilidad* (Paso 4), y *alimentación final del modelo integrado* (Paso 5). La rapidez y eficacia de la integración dependen de los softwares utilizados y de la interoperabilidad entre formatos. Por ello, es necesario gestionar plugins o configuraciones específicas que permitan importar y trabajar correctamente con los atributos BIM dentro del entorno GIS. Asimismo, se crean carpetas en el servidor para almacenar la documentación vinculada al modelo y se generan rutas de acceso integradas en el navegador GIS, facilitando la consulta directa de la información almacenada. Finalmente, se crean y configuran bases de datos, como tablas de atributos BIM y hojas Excel, vinculadas a los elementos del modelo. Estas bases se alimentan con información adicional no incorporada previamente al BIM y se configuran ventanas emergentes (*pop-ups*) en la plataforma GIS para visualizar los datos asociados a cada elemento del modelo integrado

2.3 Fase 3 de la metodología: Aplicaciones

En este trabajo se propone el uso del modelo para la gestión de información de edificios mediante navegación virtual 3D, como una de sus principales aplicaciones. Esta funciona como herramienta auxiliar para acceder a información gráfica y documental almacenada en el modelo. La navegación 3D no requiere una metodología específica, sino el manejo de las herramientas de exploración de la plataforma GIS-3D que integra el modelo BIM, como la gestión de atributos y la generación de análisis. Entre las opciones de exploración se incluyen la activación y desactivación de capas, filtrado de edificios, consulta de tablas de atributos y uso de ventanas emergentes (*pop-up*).

3 Caso de Estudio

El caso de estudio se ubica en la Ciudad de Santander, concretamente en el área urbana del Campus de Las Llamas de la Universidad de Cantabria, España Fig. 4 (a). Dicho campus tiene una superficie superior a 1 km². Los edificios modelados en BIM, son, el *edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos*, Fig. 4 (b); *Edificio Interfacultativo* (fachada sur), Fig. 4 (c), y el *Edificio del Instituto de Física*, Fig. 4 (d).

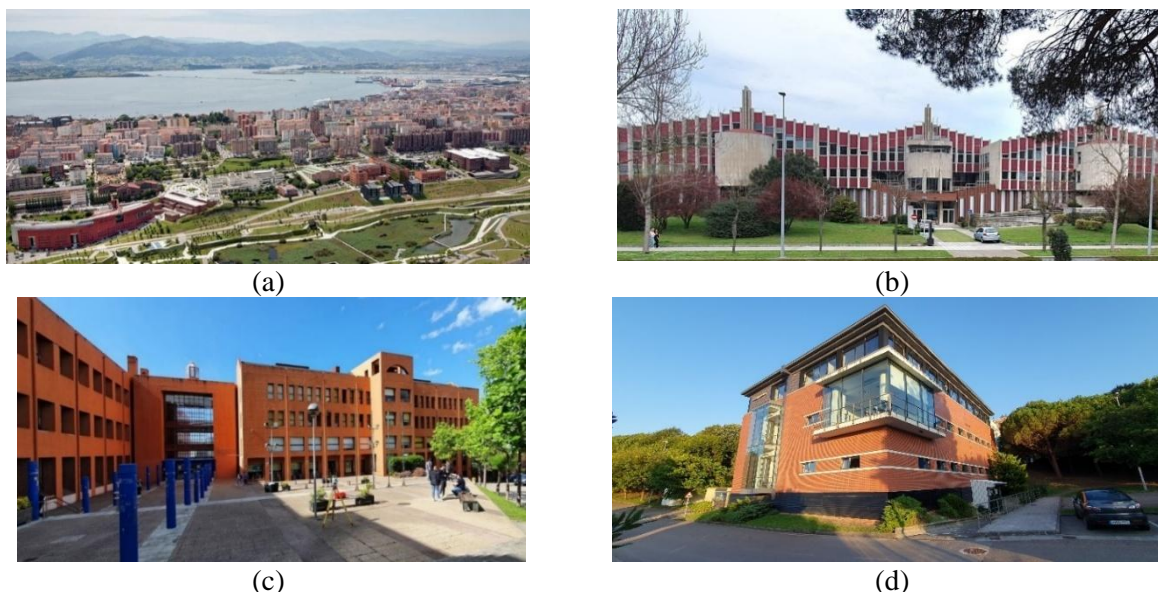


Fig. 4. Emplazamiento: (a) Santander- Campus de Las Llamas de la Universidad de Cantabria (fuente: Google Earth). (b) E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. (c) Fachada Sur del Edificio Interfacultativo y (d) Edificio del Instituto de Física (Fuente: elaboración propia)

3.1 Fase 1 - Modelado

3.1.1 Etapa 1, Generación del entorno GIS-3D del emplazamiento.

En el Paso ①, *Gestión de datos y configuración inicial*, se utilizaron ortofotos como mapa base y un terreno digital con relieve. Para poder representar este último se trabajó con las nubes de puntos de los vuelos LIDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España del año 2012 (PNOA), la cual serviría para generar el mencionado modelo digital del terreno (MDT). Tanto las ortofotos como las referidas nubes de puntos se obtuvieron del centro de descarga de Mapas Cantabria-España [29], y en la sede de Catastro de España [30]. Para desarrollar el Paso ②, *Definición del terreno y de la huella de los edificios* se parte de la base catastral de las parcelas de cada emplazamiento. Esta base, llamada en España como “*Constru*”, se obtiene directamente desde la sede de Catastro de España [30] o del centro de descarga de Mapas Cantabria-España [31]. La capa 2D “*Constru*” tiene adjunta una tabla de atributos con información sobre las parcelas, las subparcelas, y las formas poligonales de la huella de los edificios, datos necesarios para poder desarrollar las etapas siguientes. Dado que se ha considerado que el emplazamiento debe tener un terreno con relieve, debe crearse el MDT y el Modelo Digital de Superficie (MDS). Para ello se filtran los puntos correspondientes al terreno en la nube de puntos del vuelo LIDAR, Fig. 5 (a). Estos se combinan con la ortofoto previamente asignada a través de algoritmos implementados en el software GIS (*ArcGIS Pro*), obteniendo un terreno con relieve y textura realista, Fig. 5 (b).

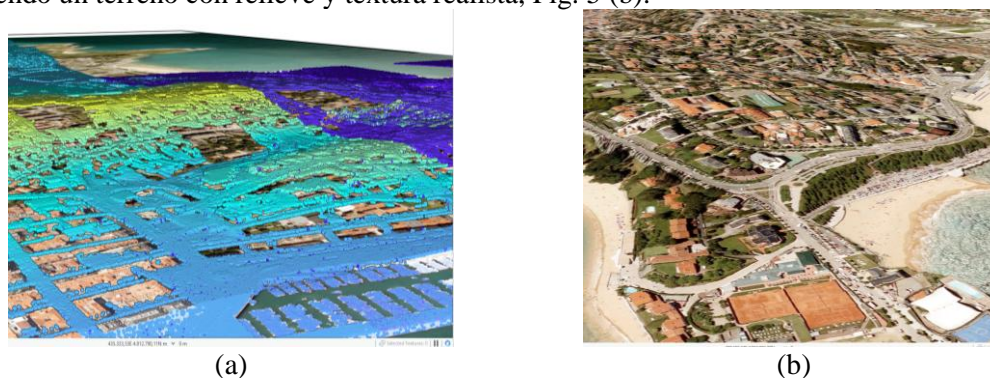


Fig. 5. Definición del terreno. (a) Nube de puntos del vuelo LIDAR PNOA 2012 sobre una ortofoto de Santander. (b) MDT texturizado de Santander (Elaboración propia).

En el Paso ③, *Generación del entorno GIS-3D de los edificios*, la capa “Constru” creada previamente contiene un campo que define las alturas de las edificaciones mediante números romanos, donde “I” representa una planta, “II” dos plantas, etc., Fig. 6 -región 1. Para generar la extrusión del modelo es necesario convertir estos valores a números arábigos mediante un algoritmo, Fig. 6 -región 2 y 3, adoptándose una altura media entre forjados de 3 m. Con ello se obtiene el modelo urbano en nivel LoD1, Fig. 7. Para alcanzar un nivel LoD2 se automatiza una función capaz de identificar en el MDH las alturas y pendientes de las cubiertas de los edificios. El nivel LoD3 incorpora mayor realismo mediante la texturización de los multipath con fotografías de fachadas y cubiertas, o mediante la edición detallada de las envolventes de los edificios. Finalmente, el nivel LoD4 se alcanza mediante la integración posterior de los modelos BIM de los edificios.

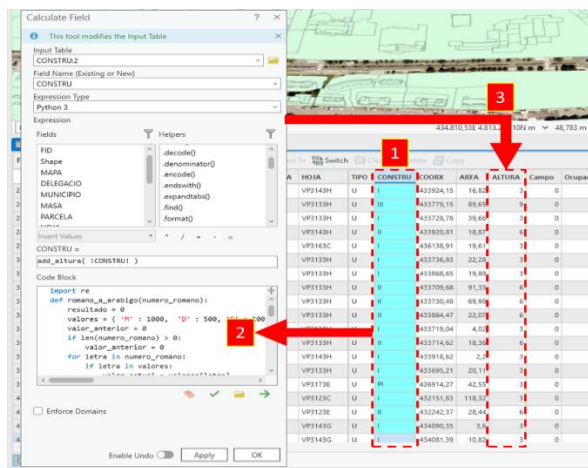


Fig. 6. Configuración para asignar una altura fija a los edificios.

Fig. 7. Entornos 3D en LoD 1 con ArcGIS

3.1.2 Etapa 2 Creación de los modelos BIM de los edificios

Para el Paso ①, *Información previa y captación de datos*, se muestra en la Tabla 1 como se relaciona la información previa necesaria, y la fuente de extracción, para modelar los edificios Universitarios. Por ejemplo, en el edificio de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, se realizaron dos modelos. El primero fue construido a partir de planos existentes en papel y en formato digital (*dwg* y *pdf*), localizados en el archivo físico central del Servicio de Infraestructuras de la Universidad de Cantabria, y a través de mediciones in situ. El segundo modelo, focalizado en un área más concreta del edificio, generándose mediante escaneo láser 3D y fotogrametría arquitectónica. El edificio del Instituto de Física de Cantabria, también fue construido a partir de planos existentes en formato digital (*dwg* y *pdf*). En el caso de la fachada sur del Edificio Interfacultativo de la Universidad de Cantabria, el modelo fue creado a partir de una toma de datos mediante láser escáner 3D y fotogrametría arquitectónica.

Tabla 1. Información previa para modelar el edificio en BIM.

Edificio	Información	Fuente
E.T.S. de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Santander	Modelo 1: Planos existentes* y a través de mediciones in situ	Archivo físico central del Servicio de Infraestructuras de la Universidad de Cantabria.
	Modelo 2: Láser escáner y fotogrametría arquitectónica	Levantamiento in situ.
Edificio del Instituto de Física de Cantabria	Planos existentes*	Archivos del Servicio de Infraestructuras de la Universidad de Cantabria.
Edificio Interfacultativo de la Universidad de Cantabria (fachada sur)	Láser escáner y fotogrametría arquitectónica	Levantamiento in situ.

* En papel y en formato digital (*dwg* y *pdf*)

El proceso de captura de datos para generar los modelos requirió trabajo de campo, incluyendo posicionamiento topográfico, escaneado láser y fotogrametría. El posicionamiento se realizó con una estación total robótica Leica TS13, 5", efectuándose 10 estacionamientos en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y 3 en el Edificio Interfacultativo. Para el escaneado láser del Edificio Interfacultativo se utilizó un Leica Geosystem C10, mientras que en el interior de la E.T.S. se empleó un Leica BLK360, Fig. 7 (a), habitual en modelización BIM. La georreferenciación de los escaneados se realizó mediante dianas circulares de 6", Fig. 7 (b), ejecutándose un total de 48 escaneados. El procesamiento de la información se llevó a cabo con el software Reality Capture de Leica, utilizando las herramientas Register360 y Cyclone3DR, con un total de 79 enlaces generados, Fig. 7 (c). Los escaneados se vincularon mediante el método "nube a nube", obteniéndose una nube de puntos conjunta y georreferenciada en el sistema de referencia del proyecto.

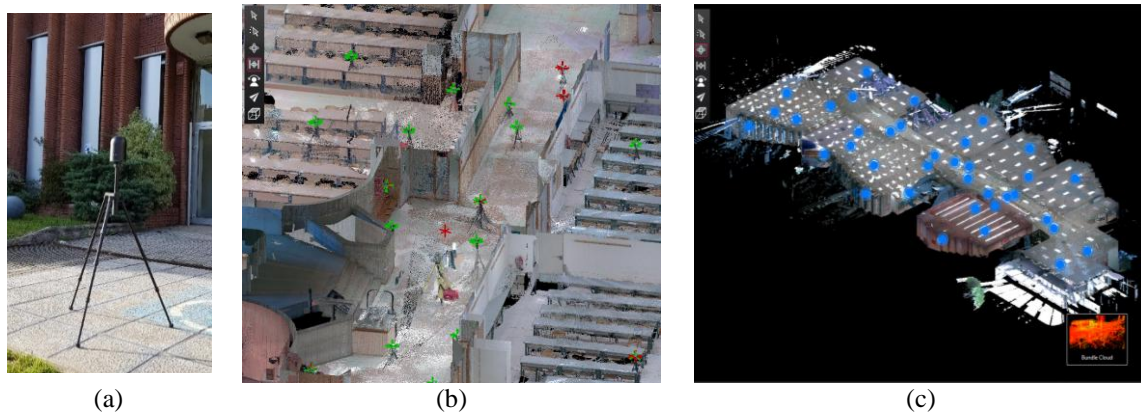


Fig. 8. (a) Láser escáner Leica-geosystem BLK360. (b) Dianas circulares empleadas en los escaneados. (c) nube de puntos obtenida de la planta baja de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos

En el Paso ②, *Creación del modelo geométrico*, el modelado se desarrolló de dos formas: mediante planos existentes y mediante nubes de puntos obtenidas con láser escáner 3D. El modelado a partir de planos se aplicó en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y en el Instituto de Física de Cantabria, utilizando Autodesk Revit 2019 con planos CAD 2D, documentos impresos y mediciones in situ. Se emplearon principalmente bibliotecas estándar del software, excepto en las fachadas de la E.T.S., que debieron modelarse con la herramienta "masa" debido a su singularidad. La Fig. 9 muestra los renders obtenidos, útiles para bibliotecas virtuales y visualización 3D, aunque con limitaciones de precisión geométrica. El modelado mediante láser escáner se realizó en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos y en la fachada sur del Edificio Interfacultativo de la Univ. de Cantabria.

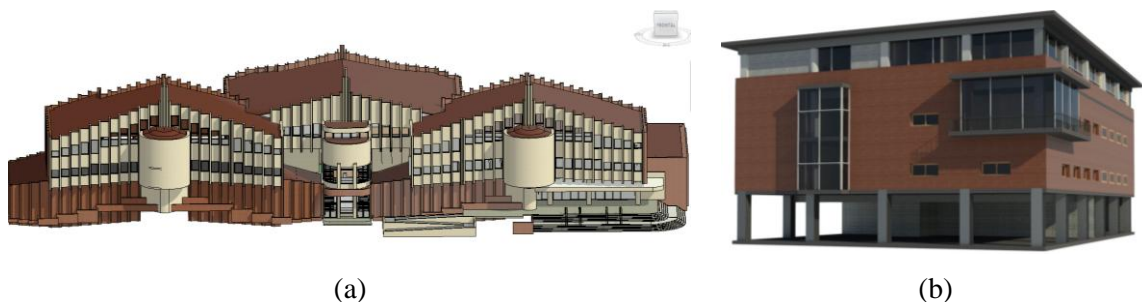


Fig.9. Modelo BIM generado a partir de planos existentes: (a) E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (b) Instituto de Física de Cantabria

En la E.T.S. se reutilizó el modelo previo basado en planos, ajustándolo con nubes de puntos importadas en Revit 2019 para optimizar el proceso y mejorar la precisión geométrica respecto al edificio construido. Para ello fue necesario configurar parámetros como ubicación, cotas y norte real del proyecto, además de redefinir niveles y reajustar o recrear elementos BIM, Fig. 10 (a). En el

Edificio Interfacultativo se procedió directamente al modelado de los elementos BIM a partir de la nube de puntos, Fig. 10 (b).

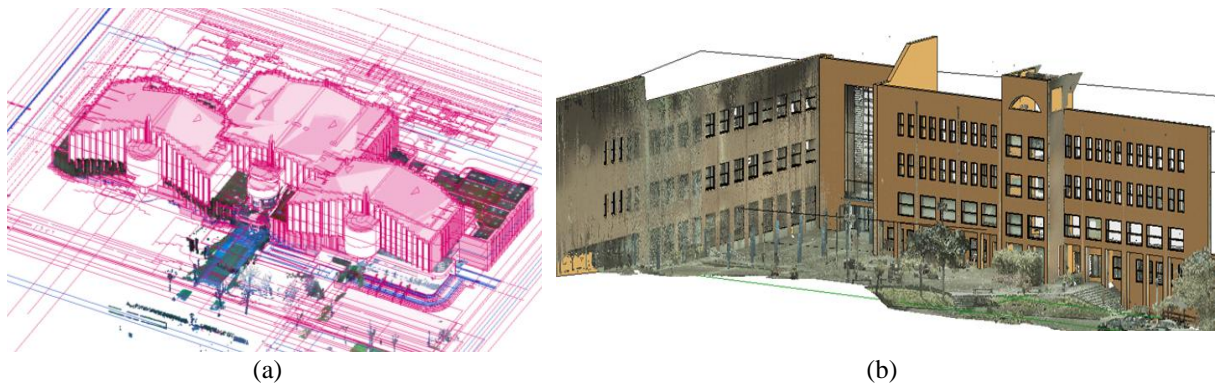


Fig.10. (a) Planos, Nube y Modelo BIM reajustado, todo en uno de la ETS de ingenieros de Caminos Canales y Puertos (b) Elementos BIM integrados a la nube de puntos de la Fachada sur del Edificio del Interfacultativo

3.1.3 Fase 2 - Integración y alimentación del modelo GIS & BIM

En este caso, la integración -Fig. 11- se realizó directamente con el archivo *Revit (*.rvt)*, porque *ArcGIS Pro v2.7*, -el software GIS empleado-, está configurado para ser compatible con archivos **.rvt* sin necesidad de algoritmos adicionales. Así, una vez importado el archivo al “Catalog” del *ArcGIS Pro*, se procedió a vincularlo como un “3D Layer”, a georreferenciarle, y a verificar que tanto dicha georreferenciación como la elevación del edificio con respecto al terreno es correcta. Previo a la alimentación del modelo integrado GIS & BIM, debe asegurarse de haber creado elementos esenciales en el modelo BIM; en este sentido, se han creado familia de mobiliario, aparatos sanitarios, ordenadores, luminarias, equipos del cuarto eléctrico y algunos aparatos como extintores y radiadores y otros equipamientos de los edificio. Esto se realizó creando familias y modificando tipos.



Fig.11. Integración de los Modelos BIM en el GIS 3D del Campus de las Llamas.

Para alimentar el modelo integrado GIS & BIM, primero se configuraron parámetros compartidos en Autodesk Revit, permitiendo incorporar propiedades adicionales a los elementos, como resistencia estructural, fechas o vínculos con sistemas CMMS. Esta configuración se realizó desde la herramienta “gestionar” de Revit siguiendo el procedimiento definido por el software. Posteriormente, se crearon carpetas en el servidor para almacenar la documentación vinculada al modelo y se incorporaron en el entorno GIS las rutas de acceso a dicha información. Para ello, se utilizaron recursos web de la Universidad de Cantabria y del Grupo de Tecnología de la Edificación (GTED-UC) integrando enlaces a planos en PDF, información académica y otros contenidos útiles para la navegación. Asimismo, se crearon hojas Excel vinculadas con las tablas de planificación de Revit y las tablas de atributos de ArcGIS Pro, sincronizadas mediante el plugin “Export-Import Excel”, complementándose en algunos casos con introducción manual de datos. Finalmente, se

configuraron ventanas emergentes (pop-up) que permiten consultar información específica de los elementos del modelo integrado al seleccionarlos en la plataforma GIS.

3.2 Fase 3 – Aplicación del modelo sobre la navegación virtual y gestión de la información sobre el modelo tridimensionalmente

Una vez generados e integrados los modelos, es posible realizar navegación interna y externa para consultar la información como una biblioteca virtual 3D. La navegación externa se basa en un mapa 3D del entorno, permitiendo visualizar el modelo, Fig. 12 (a), y consultar datos geométricos como distancias o cotas entre elementos, Fig. 12 (b). Antes de ello, es necesario alimentar los modelos con información. Esta alimentación inicial permitió incorporar datos en los componentes de las familias, como el mobiliario de aulas, Fig. 13 (a) y (b), incluyendo textos identificativos (facultad, aula) y códigos QR. A partir de ello se desarrolló un tablero de control para simular la ocupación de aulas, Fig. 14 (a), mediante la vinculación entre tablas de atributos de Revit, ArcGIS y Excel, filtrando campos y, generando gráficos (principalmente de barras). De forma similar, se creó otro panel para monitorizar la concentración de CO₂ en aulas, Fig. 14 (b), como indicador indirecto de ocupación y calidad del aire [45], clasificándose en niveles aceptables o inadecuados según ppm.

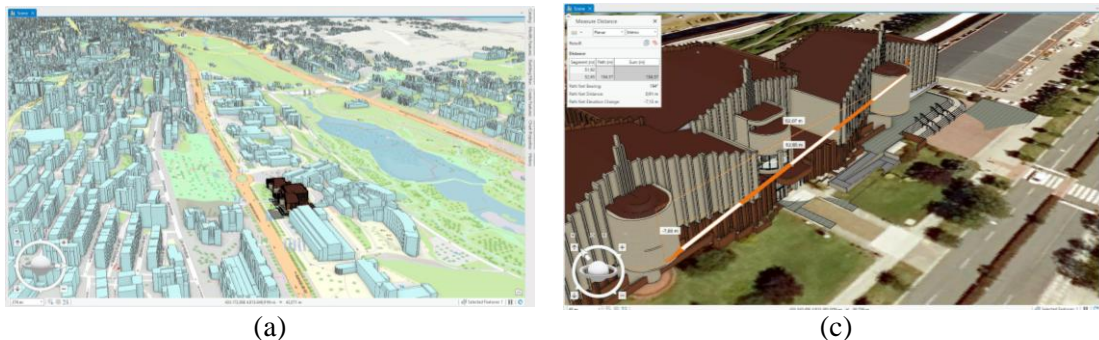


Fig. 12. Entorno GIS-3D en el que está integrado el modelo BIM de la ETSICCP de Santander. (a) Mapa 3D. (b) Consulta de la ubicación del modelo. (c) Consulta de cotas entre dos elementos.

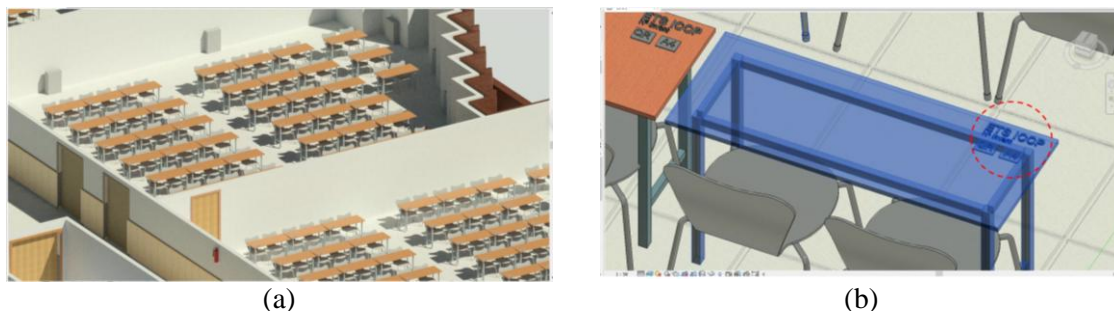


Fig. 13. (a) Familias BIM de pupitres. (b) ejemplar con componentes especiales para representar la información del “Tipo Pupitre Caminos” de la ETS de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Santander.

Finalmente, el modelo GIS & BIM permite analizar la interacción del entorno con los edificios, como la influencia del viento mediante sensores y paneles de control, Fig. 15. Esto posibilita la monitorización centralizada de múltiples activos en una única interfaz, facilitando el acceso, análisis y generación de alertas en entornos urbanos o distribuidos.

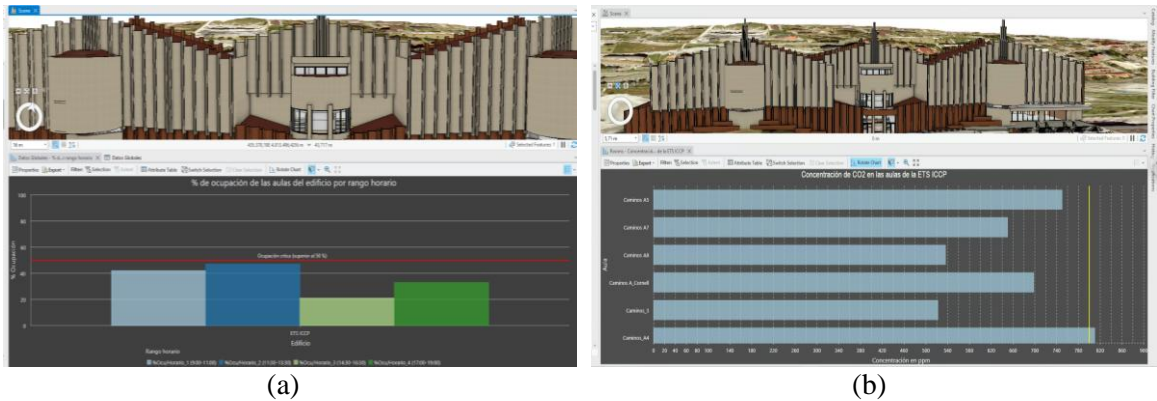


Fig. 14. Simulación y consulta en las aulas de ETSICCP de Santander: (a) Ocupación de las aulas por rango horario. (b) . Concentración de CO2



Fig. 15. Simulación de la monitorización de la velocidad del viento que afecta a los edificios

Para construir el panel de control representado en la Fig. 15, dado que en este caso de aplicación no se dispone de sensores de vientos instalados físicamente en los edificios, se procedió a crear y a vincular en el modelo GIS & BIM una tabla de atributos Excel con datos de velocidad de viento reales (desde el 26/07/2023-16:00h hasta el 27/07/2023-15:00h, hora española) obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología de España [32], Fig. 16. Dichos datos representan los que registrarían los hipotéticos sensores instalados en cada emplazamiento.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
OID	Edificio	Category	Family Type	Objectid	Fecha y hora oficial	Temperatura (°C)	Velocidad del viento (km/h)	Dirección del viento
10	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	27/07/2023 06:00	18.6	8	Este
11	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	27/07/2023 05:00	18.4	7	Sudeste
12	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	27/07/2023 04:00	18.3	9	Sudeste
13	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	27/07/2023 03:00	18.9	5	Sudeste
14	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	27/07/2023 02:00	19.2	10	Sudeste
15	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	27/07/2023 01:00	19.4	9	Este
16	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	27/07/2023 00:00	19.6	6	Este
17	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 23:00	19.8	9	Este
18	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 22:00	20.1	12	Este
19	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 21:00	21	13	Nordeste
20	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 20:00	21.4	11	Nordeste
21	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 19:00	21.8	10	Norte
22	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 18:00	21.8	12	Norte
23	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 17:00	22.2	9	Norte
24	ETS ICCP-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	841082	26/07/2023 16:00	22.1	9	Noroeste
25	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 15:00	21.5	17	Noroeste
26	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 14:00	22.5	14	Noroeste
27	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 13:00	22.1	11	Oeste
28	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 12:00	21	6	Noroeste
29	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 11:00	20.7	10	Noroeste
30	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 10:00	20.7	8	Noroeste
31	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 09:00	20.2	4	Noroeste
32	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 08:00	18.8	5	Sudoste
33	IFCA-Santander	Mecánica	Sensor-Viento_fachada	806376	27/07/2023 07:00	18.3	8	Sur

Fig. 16. Captura de la base de datos simulados para la velocidad de viento, a partir de valores reales obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología de España [32].

Otra aplicación útil para monitorizar el conjunto de edificios de un entorno, es el análisis comparativo (benchmarking) del consumo energético de los mismos. Para simular esta aplicabilidad se han construido paneles de control que reúnen y comparan los valores de consumo de energía de los edificios, Fig. 17. Estos gráficos son útiles para sugerir mejoras en la reducción del gasto energético, a partir de buenas prácticas detectadas en otros edificios que presten servicios similares y que consiguen un gasto más ajustado en comparación con la media total del Campus. Los cuadros de control se construyeron con una base de datos Excel vinculada al modelo GIS & BIM-HBIM, que se alimentó con los datos que registran cada hora los sensores de consumo de energía de los edificios de la Universidad de Cantabria. Estos datos son abiertos, y pueden ser consultados en tiempo real a través del servicio web UC “Sostenibilidad en la UC” [33].

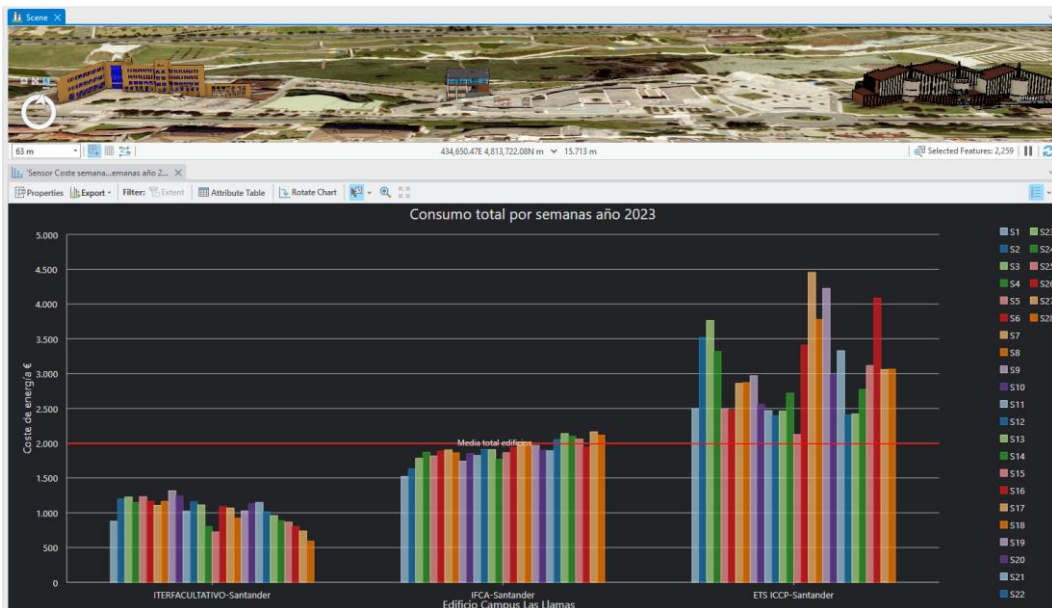


Fig. 17. Registro comparativo (benchmarking) del consumo de energía de los edificios

4 Conclusiones

La visualización virtual en 3D se está implementando de forma acelerada en la industria de la construcción debido a los cambios tecnológicos del sector, y junto con el trabajo colaborativo permite una gestión más eficiente para todos los agentes implicados. Esta investigación contribuye al proceso de digitalización 3D de ciudades y a la gestión de la información de los edificios mediante herramientas de modelado y administración digital. Se propone la integración de modelos GIS & BIM de tres edificios universitarios de la Universidad de Cantabria (España), con el objetivo de gestionar su información a través de una biblioteca digital tridimensional. Este enfoque permite centralizar y consultar de manera integrada la información gráfica y documental de los edificios dentro de un entorno virtual 3D. Los resultados muestran que es posible integrar modelos GIS & BIM mediante mecanismos de enlace simples, sin afectar negativamente la eficiencia en la sincronización ni en la gestión de la información. Esta integración se basa en modelos ligeros que facilitan el intercambio de datos entre plataformas y optimizan los procesos de gestión. En conjunto, el estudio evidencia que la combinación de GIS y BIM en entornos 3D no solo mejora la visualización y el acceso a la información, sino que también contribuye a una gestión más eficiente y coordinada de los activos construidos, reduciendo la complejidad de los procesos y favoreciendo la toma de decisiones.

5 Referencias bibliográficas

- [1] Comisión Europea, “Oleada de renovación para Europa: ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas,” pp. 1–32, 2020.
- [2] G. White, A. Zink, L. Codecá, and S. Clarke, “A digital twin smart city for citizen feedback,” *Cities*, vol. 110, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.cities.2020.103064.
- [3] A. Lee, J. Kim, and I. Jang, “Movable Dynamic Data Detection and Visualization for Digital Twin City,” Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Dec. 2020, pp. 1–2. doi: 10.1109/icce-asia49877.2020.9277250.
- [4] N. Arcuri, M. De Ruggiero, F. Salvo, and R. Zinno, “Automated valuation methods through the cost approach in a BIM and GIS integration framework for smart city appraisals,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 18, 2020, doi: 10.3390/su12187546.
- [5] I. H. Hijazi, T. Krauth, A. Donaubauer, and T. Kolbe, “3DCITYDB4BIM: A system architecture for linking bim server and 3d citydb for bim-gis-integration,” in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Copernicus GmbH, Aug. 2020, pp. 195–202. doi: 10.5194/isprs-Annals-V-4-2020-195-2020.
- [6] D. E. Andrianesi and E. Dimopoulou, “An Integrated Bim-Gis Platform For Representing And Visualizing 3d Cadastral Data,” in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Copernicus GmbH, Sep. 2020, pp. 3–11. doi: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-3-2020.
- [7] C. Dore and M. Murphy, “Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites,” in *Proceedings of the 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2012: Virtual Systems in the Information Society*, 2012, pp. 369–376. doi: 10.1109/VSMM.2012.6365947.
- [8] A. Baik, R. Yaagoubi, and J. Boehm, “Integration of jeddah historical bim and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, pp. 29–34. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-29-2015.
- [9] A. M. Abd, A. H. Hameed, and B. M. Nsaif, “Documentation of construction project using integration of BIM and GIS technique,” *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 21, no. 7, pp. 1249–1257, Nov. 2020, doi: 10.1007/s42107-020-00273-9.
- [10] D. Popovic, M. Govedarica, D. Jovanovic, A. Radulovic, and V. Simeunovic, “3D Visualization of Urban Area Using Lidar Technology and CityGML,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Dec. 2017. doi: 10.1088/1755-1315/95/4/042006.
- [11] M. El-Mekawy, A. Östman, and I. Hijazi, “A unified building model for 3D urban GIS,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 1, no. 2, pp. 120–145, Sep. 2012, doi: 10.3390/ijgi1020120.
- [12] J. Przybyla, “The Next Frontier for BIM: Interoperability With GIS,” *Journal of Building Information Modeling. An official publication of the National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance™*, vol. Fall2010, 2010.
- [13] F. Noardo *et al.*, “Tools for BIM-GIS integration (IFC georeferencing and conversions): Results from the GeoBIM benchmark 2019,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 9, 2020, doi: 10.3390/ijgi9090502.
- [14] K. H. Sharkawi and A. Abdul-Rahman, “Improving semantic updating method on 3D city models using hybrid semantic-geometric 3D segmentation technique,” in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Copernicus GmbH, Sep. 2013, pp. 261–268. doi: 10.5194/isprsannals-II-2-W1-261-2013.

- [15] O. G. Consortium, “Open Geospatial Consortium.” Accessed: Jan. 10, 2021. [Online]. Disponible: <https://www.ogc.org/standards/citygml>
- [16] H. Fan, B. Mao, J. Shen, and L. Meng, “Shell model representation as a substitute of LoD3 for 3D modeling in CityGML,” in *Joint ISPRS Workshop on 3D City Modelling and Applications and the 6th 3D GeoInfo, 3DCMA 2011*, 2011, pp. 79–84. doi: 10.1007/s11806-011-0445-8.
- [17] S. Donkers, H. Ledoux, J. Zhao, and J. Stoter, “Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings,” *Transactions in GIS*, vol. 20, no. 4, pp. 547–569, Aug. 2016, doi: 10.1111/tgis.12162.
- [18] H. Fan and L. Meng, “A three-step approach of simplifying 3D buildings modeled by cityGML,” *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 26, no. 6, pp. 1091–1107, 2012, doi: 10.1080/13658816.2011.625947.
- [19] M. Castellano-Román and F. Pinto-Puerto, “Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain),” *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 14, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.daach.2019.e00110.
- [20] BIMForum, “Level of Development Specification,” 2017.
- [21] BIMForum, “Level of Development (LOD) Specification - Part I, Guide & Commentary,” 2021.
- [22] Scan2plan, “LoD 300+ — Scan2Plan®.” Accessed: Jul. 13, 2022. [Online]. Disponible: <https://www.scan2plan.io/lod300>
- [23] Building New Dimensions, “LOD50 LOD40 As Bui 0 LOD It LOD20 LOD10,” 2021.
- [24] J. Herráez, P. Navarro, J. L. Denia, M. T. Martín, and J. Rodríguez, “Modeling the thickness of vaults in the church of santa maria de magdalena (Valencia, Spain) with laser scanning techniques,” *Journal of Cultural Heritage*, vol. 15, no. 6, pp. 679–686, 2014, doi: 10.1016/j.culher.2013.11.015.
- [25] J. M. Sanjuán, C. L. Robles, and F. D. P. Montes Tubío, “Strengths and weaknesses of Laser Scanner survey technique for recording Cultural Heritage. Case study of the church of San Francisco (priego de córdoba),” *EGA Revista de Expresion Grafica Arquitectonica*, vol. 2013, no. 21, pp. 216–225, 2013.
- [26] N. Yastikli, “Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning,” *Journal of Cultural Heritage*, vol. 8, no. 4, pp. 423–427, 2007, doi: 10.1016/j.culher.2007.06.003.
- [27] A. Fryskowska and J. Stachelek, “A no-reference method of geometric content quality analysis of 3D models generated from laser scanning point clouds for hBIM,” *Journal of Cultural Heritage*, vol. 34, pp. 95–108, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.culher.2018.04.003.
- [28] X. Yang, P. Grussenmeyer, M. Koehl, H. Macher, A. Murtiyoso, and T. Landes, “Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques,” Nov. 01, 2020, *Elsevier Masson s.r.l.* doi: 10.1016/j.culher.2020.05.008.
- [29] G. de Cantabria, “Mapas Cantabria.” Accessed: Jul. 06, 2022. [Online]. Disponible: <https://mapas.cantabria.es/>
- [30] Sede. Gobierno, “Sede Electrónica de Catastro España.” Accessed: May 12, 2021. [Online]. Disponible: <https://www.sedecatastro.gob.es/>
- [31] G. de Cantabria, “Mapas Cantabria.”
- [32] AEmet, “Observación del Tiempo.” Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Disponible: <https://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos?k=can&l=1111X&w=0&datos=det&x=h24&f=temperatura>
- [33] Universidad de Cantabria, “Sostenibilidad en la UC.” Accessed: Jul. 29, 2023. [Online]. Disponible: <https://www.sostenibilidadenergetica.unican.es/energiaelectrica/standby.aspx>