

EUBIM 2023

12º Encuentro de Usuarios BIM

BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

ÉLITE BIM

Valencia 17, 18, 19, 20 de mayo 2023

LIBRO DE ACTAS

Organizadores:



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Entidades Participantes:

GURV



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ



COAT VALENCIA
Colegio Oficial de la
Arquitectura Técnica de Valencia

CAMINOS ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

DEPARTAMENTO DE
CONSTRUCCIONES
ARQUITECTÓNICAS



CTAV COLEGIOTERRITORIAL
DE ARQUITECTOS DE VALENCIA



www.EUBIM.com

Congresos UPV

EUBIM2023. International BIM Conference EUBIM 2023. 12º Encuentro de usuarios BIM

Los contenidos de esta publicación han sido evaluados por el Comité Científico que en ella se relaciona y según el procedimiento que se recoge en <http://www.eubim.com>

© Edición Científica

Begoña Fuentes Giner
Inmaculada Oliver Faubel

Comité Organizador

Manuela Alarcón Moret
Alberto Cerdán Castillo
Begoña Fuentes Giner
David Martínez Gómez
Inmaculada Oliver Faubel
José Suay Orenge
David Torromé Belda
Sergio Vidal Santi-Andreu

© de los textos: los autores

© 2023, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València.

www.lalibreria.upv.es Ref.: 6695_01_01_01

ISBN: 978-84-1396-158-3

DOI: <https://doi.org/10.4995/EUBIM2023.2023.16863>



EUBIM2023. International BIM Conference EUBIM 2023. 12º Encuentro de usuarios BIM

Se distribuye bajo una [licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Basada en una obra en <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/EUBIM/EUBIM2023>



PRESENTACIÓN

EUBIM 2023: ÉLITE BIM

El lema del congreso EUBIM de este año podría parecer un tanto pretencioso, especialmente si no se conoce la idiosincrasia de este. Son ya 12 años (que no son pocos) de encuentros de usuarios BIM y de tomarle el pulso al nivel de conocimiento y competencia tecnológica, así como de implantación, de la metodología BIM en nuestro país. En estos 12 años hemos ido conformando la comunidad BIM más longeva y exitosa, con mayor grado de conocimiento y praxis metodológica, además de madurez de implementación y desarrollo. Que no nos dé reparo afirmar que los Eubimmers somos la élite BIM en España.

La transferencia de conocimiento que propicia este congreso científico, con las ponencias invitadas y las comunicaciones presentadas y su recopilación en los libros de actas de cada edición, junto con las oportunidades de networking, han facilitado que aquella iniciativa de reunir a los pioneros y pioneras BIM se haya consolidado como el acontecimiento del año para conocer las tendencias y estado de BIM en el sector de la construcción.

Hay otros eventos BIM, pero no son EUBIM. Hay otros eventos BIM, pero no tienen el componente científico, tecnológico y humano que tiene EUBIM. Hay otros eventos BIM, pero no tienen el factor de innovación y compartición de conocimiento que tiene EUBIM. Hay otros eventos BIM, pero no tienen las posibilidades de networking y acceso a quienes generan el conocimiento que te ofrece EUBIM. Lo mires por donde lo mires, EUBIM es la élite BIM.

Una de las máximas de la programación dice que “si algo funciona, no lo toques”. Creemos que el modelo de congreso y encuentro de usuarios de EUBIM funciona muy bien, y año tras año, queda patente. Sin embargo, siempre intentamos modificar, introducir alguna novedad, cambiar alguna cosa, con el ánimo de avanzar, mejorar, generar mayor grado de satisfacción entre los profesionales y empresas que participan. Confiamos en que los cambios introducidos este año (algunos sobrevenidos y otros aprovechando la coyuntura) también reviertan en la buena valoración y prestigio ganado edición tras edición.

Como toda comunidad de conocimiento y profesionalidad, los EUBIMmers hemos pasado distintas etapas, fases más teóricas, de formación, de juguetería y pruebas, para paulatinamente alcanzar este grado de madurez que nos permite, sin ánimo de ser pretenciosos, llamar a este grupo que se reúne en València en EUBIM, la élite BIM a nivel estatal.

Bienvenidos / bienvenidas, EUBIMmers. Bienvenidos / bienvenidas, élite BIM, a vuestro encuentro anual.

El Comité Organizador de EUBIM 2023



COMITÉ INSTITUCIONAL

- Rector Magnífico de la Universitat Politècnica de València, D. José E. Capilla Romá.
- Presidente del Grupo de Usuarios Revit Valencia (GURV), D. Alberto Cerdán Castillo.
- Director de la ETS de Ingeniería de Edificación UPV, D. Fernando Cos-Gayón López.
- Director del Departamento de Construcciones Arquitectónicas UPV, D. José M^a Fran Bretones

COMITÉ CIENTÍFICO

- Jesús Alfaró González - Universidad de Castilla-La Mancha
- Alberto Cerdán Castillo - Consultor BIM
- Eloi Coloma Picó - Universitat Politècnica de Catalunya
- Patricia del Solar Serrano – Universidad Europea de Madrid
- Ernesto Faubel Cubells - Universitat Politècnica de València
- Ángel José Fernández Álvarez - Universidade da Coruña
- Begoña Fuentes Giner - Universitat Politècnica de València
- Jaume Gimeno Serrano - Universitat Politècnica de Catalunya
- Beatriz Inglés Gosálbez - Universidad Europea de Madrid
- Isabel Jordán Palomar - Consultora BIM
- Óscar Liébana Carrasco - Consultor BIM
- Norena Natalia Martín Dorta - Universidad de La Laguna
- Inmaculada Oliver Faubel - Universitat Politècnica de València
- Luis Pallarés Rubio - Universitat Politècnica de València
- Eugenio Pellicer Armiñana - Universitat Politècnica de València
- Juan Luis Pérez Ordóñez - Universidade da Coruña
- Miquel Rodríguez Niedenföhr - Universitat Politècnica de Catalunya
- José Antonio Vázquez Rodríguez - Universidade da Coruña
- Gonçal Costa Jutglar - La Salle BES
- Jesús De Paz Sierra - Universidad de Cantabria

COMITÉ ORGANIZADOR UPV-GURV

- Manuela Alarcón Moret
- Alberto Cerdán Castillo
- Begoña Fuentes Giner
- David Martínez Gómez
- Inmaculada Oliver Faubel
- José Suay Orenga
- David Torromé Belda
- Sergio Vidal Santi-Andreu



TEMAS DEL CONGRESO

Continuando con las líneas de investigación y divulgación que fueron tratadas durante los congresos nacionales BIM, EUBIM de otros años, los temas del congreso son:

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM



1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

Creemos que la Universidad debe ser un agente de cambio fundamental en la divulgación, formación e investigación de nuevas metodologías de gestión de proyectos de construcción. Los futuros profesionales del sector deberían finalizar sus estudios con un nivel competencial suficiente tanto en el conocimiento de estas metodologías como en el dominio de sus herramientas de aplicación. Del mismo modo, el fomento y obtención de resultados de investigación sobre este campo lo consideramos fundamental para la necesaria evolución de nuestro sector productivo.

1.1 Investigación

Comunicaciones originales resultantes de un trabajo de investigación (ya finalizado o en progreso) centrado en BIM o donde la metodología BIM juega un papel fundamental en la investigación.

En este campo están invitados a presentar comunicaciones autores de tesis doctorales, trabajos final de máster, proyectos final de grado y grupos de investigación o investigadores a título individual o colectivo.

1.2 Formación

Comunicaciones originales resultantes de la experiencia real de programar e implementar en el currículo de asignaturas regladas de grado y postgrado herramientas BIM: objetivos, posibilidades e inconvenientes, metodología formativa, trayectoria, resultados, futuro.

Comunicaciones originales resultantes de la experiencia real de programar e implementar el aprendizaje de herramientas BIM en formación continua, tanto en cursos específicos como seminarios de naturaleza académica y técnica: objetivos, posibilidades e inconvenientes, metodología formativa, trayectoria, resultados, futuro.

En este campo están invitados a presentar comunicaciones tanto el profesorado universitario como formadores BIM fuera del ámbito universitario que deseen presentar su experiencia docente específica en la formación y el proceso aprendizaje enseñanza de herramientas BIM.

1.3 Empleabilidad

Las salidas profesionales y las nuevas profesiones creadas como consecuencia del empleo de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción.

Nos gustaría recibir comunicaciones originales sobre las expectativas de empleabilidad que puede tener el dominio de la metodología BIM, los requisitos de formación y capacidades que solicitan los empleadores y casos reales de profesionales que han encontrado empleo gracias a sus conocimientos en BIM: localización de la oferta de empleo, requisitos solicitados, demostración de competencias y capacidades del aspirante durante el proceso de selección, etc.



2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

Evolución de la edificación y construcción, costes y presupuestos con el diseño en BIM. Algunos de estos aspectos se pueden gestionar con programas BIM, para optimizar los costes y el funcionamiento tanto de los inmuebles como de los servicios.

Las comunicaciones pueden incidir en cómo el BIM puede influir en los procesos de:

2.1 Costes, mediciones y presupuestos

En el ámbito del diseño y construcción con BIM destacamos los procesos de costes, mediciones y presupuestos.

2.2 Gestión de las TI

El uso del BIM para el mantenimiento de las infraestructuras tecnológicas y gestión de su información incluida su relación con otros elementos del edificio estructurales o no.

2.3 Gestión de los espacios

Ejemplo de ello es la necesidad actual de crear completos catálogos que permitan a los usuarios disponer de todos los servicios que pueden ser ofrecidos y soportados por la infraestructura, como la reserva de salas, petición de catering, gestión de plazas de aparcamiento, petición de mudanzas y traslados, gestión de llaves, gestión de visitas y un largo etcétera que varía según las posibilidades de cada organización.

2.4 El mantenimiento de los activos, mantenimiento preventivo y correctivo

Para planes de mantenimiento operativo (tareas que permiten mantener un activo funcionando y en un estado óptimo) o mantenimiento basado en el estado (y no de una periodicidad arbitraria) que permiten alargar los ciclos de vida de los activos, disminuyendo el número y la gravedad de incidencias, y a la larga, reducir los costes derivados de ellos.

2.5 Aplicaciones de las nubes de puntos

Escaneado y reproducción de espacios mediante nubes de puntos a aplicaciones BIM y su relación con el Facility Management.

2.6 Facility Management

Evolución del Facility Management gracias a la influencia del BIM y sus posibilidades.

2.7 Metodologías BIM al servicio del FM

Cómo el uso del BIM se convierte en una ventaja estratégica para la empresa de Facility Management.



2.8 Propiedad y Legalidad en BIM

Aspectos legales y de Propiedad Industrial e Intelectual dentro de BIM.

2.9 Conexión de programas BIM con bases de datos y BMS

Posibilidades de conexión y beneficios prácticos que ofrece el uso del software BIM junto con diferentes bases de datos y por otra parte con building management systems o sistemas de gestión de edificaciones, domótica y automatización integral de inmuebles con alta tecnología basado en software y hardware de supervisión y control instalado en edificios.

2.10 El papel del BIM en las smart cities

Utilidades de la metodología BIM en las futuras Smart cities y el papel que puede desempeñar o cómo puede contribuir a conseguir ciudades súper-eficientes y sostenibles. Todo ello desde el punto de vista de cómo puede contribuir el BIM a una supervisión optimizada del espacio de la ciudad, a la relación interactiva y móvil entre sus habitantes o el desarrollo y promoción de nuevas formas de cooperación entre otros.

2.11 Normalización

Cualquier estudio o reflexión sobre aspectos o elementos que deban ser considerados en el desarrollo de los estándares para una implantación del BIM a nivel nacional. Como propuestas de estándares, formatos de intercambio, propuesta de documentos, opciones de digitalización, roles y perfiles profesionales, certificaciones, etc...

2.12 Programación Visual y Desarrollo de aplicaciones vía API

Estudios y aplicaciones de programación visual o desarrollo de aplicaciones via API en cualquier plataforma y con cualquier herramienta para BIM que facilite la manipulación de datos, el modelado de geometrías estándar o complejas, explorar opciones de diseño, automatizar procesos, y crear vínculos entre múltiples aplicaciones.

2.13 Realidad Virtual, Realidad aumentada y Realidad Mixta

Estudios y usos de la información dentro del modelo BIM para diferentes aplicaciones enfocados a una realidad tridimensional / virtual o real.



3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

Experiencias reales tras la utilización de BIM como metodología de trabajo, control de la información generada en relación a una construcción, durante todo su ciclo de vida. El uso del BIM va asociado a grandes cambios y por lo tanto se suele encontrar resistencia al mismo, y no siempre termina con el final deseado si no se realiza adecuadamente.

Este sería el tema más práctico del congreso y estamos interesados en información sobre:

3.1 Experiencias reales

Testimonios de empresas locales que hayan implementado el BIM como metodología de trabajo, incluyendo la descripción del proceso que les ha posibilitado la adopción de esta nueva metodología, los problemas que han tenido que superar y los resultados obtenidos.

3.2 Casos de éxito

Redundando sobre el apartado anterior, buscamos información sobre los beneficios obtenidos como consecuencia de esta implementación, sobre todo en el terreno las nuevas oportunidades de negocio aportadas a la empresa como consecuencia de la adopción de la metodología BIM como procedimiento de trabajo.

3.3 Coordinación entre diferentes agentes del proceso constructivo

Soluciones de coordinación entre los diferentes agentes que intervienen en el proceso constructivo en nuestro país.

3.4 Procesos

Nuevos procesos tras la utilización de BIM como metodología de trabajo en una empresa.

3.5 Adaptación de Flujos de Trabajo

Adaptación de los flujos de trabajo existentes en una empresa a los nuevos requeridos como consecuencia de la implementación BIM.

3.6 Generación de documentos de Construcción

Cambios en la documentación de construcción generada como consecuencia de la inclusión de nuevos métodos de producción de la misma.



ÍNDICE DE COMUNICACIONES Y PONENCIAS

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

- 1.1 LA HUELLA DE CARBONO QUE GENERAN LOS EDIFICIOS. PRINCIPALES DESAFÍOS Y APRENDIZAJES DE SU CÁLCULO DESDE LA FASE DE PROYECTO EN BIM.
 Soust-Verdaguer, Bernardette.....Pág.14
- 1.2 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS PARA GENERAR MODELOS IFC. APLICACIÓN EN DOS CASOS DE ESTUDIO
 Pérez-García, Ana; Martín-Dorta, Norena y Aranda, José Ángel.....Pág.24
- 1.3 MÉTODO PARA AUTOMATIZAR EL MAPEO DE LA DEGRADACIÓN EN EL MODELADO PARAMÉTRICO DE INFORMACIÓN DE UN EDIFICIO HISTÓRICO
 Sanseverino, Anna; Lozano-Galant, Fidel; Guida, Caterina Gabriella; Limongiello, Marco y Lorusso, Angelo.....Pág.34
- 1.4 HACIA UNA INTEGRACIÓN ENTRE BIM Y ROBOTIC PROCESS AUTOMATION: UNA PRUEBA DE CONCEPTO
 Atencio-Castillo, Edison, Ignacio Alfaro, Felipe Muñoz-La Rivera Lozano-Galant, Fidel y Lozano-Galant, José..... Pág.45
- 1.5 UTILIZACIÓN DE BIM PARA LA GENERACIÓN DE FICHAS RELATIVO A LA MANIFESTACIÓN PATOLÓGICA EN EDIFICIOS HISTÓRICOS
 García Valldecabres, Jorge L; Escudero, Pablo Ariel ; López González Concepción ;Cortés Meseguer, Luis..... Pág.56
- 1.6 MODELOS DE INFORMACIÓN DE PAVIMENTOS (PIM): REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM APLICADA A CARRETERAS
 Lastra-González, Pedro, Manchado-del-Val, Cristina, Gómez-Jauregui, Valentin y Otero-González, Cesar Antonio Pág.63
- 1.7 DE LA REALIDAD A LO DIGITAL MEDIANTE LIDAR
 Carvallo-García, Sara; Garrido-Iglesias, André; Cañizares-Sánchez, Alicia; Romero Fernández, José; Pérez-Ordóñez, Juan Luis..... Pág.73
- 1.8 POWER BI COMO HERRAMIENTA GRATUITA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN DE MODELOS BIM
 Moret-Colomer, Salvador..... Pág.87

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

- 2.1 FLUJO DEL DATO EN LA SMART CITY
 Gómez-Ferrer, César y Aznar-Cabotá, Sergio.....Pág.97
- 2.2 HBIM APLICADO AL PLAN DIRECTOR DEL CASTILLO DE XIVERT
 Martínez-Gómez, David Carlos; Alarcón López, Iván José y Villacampa Crespo, Laura.....Pág.109



2.3 MONITORIZACIÓN DIGITAL DE SEDES CORPORTATIVAS: EL GEMELO DIGITAL DE TYP SA (MADRID) Sánchez Allegue, Paloma, García Castañar, Javier, Tigreros Guerrero, Daniel y Hueros Castellano, Juan Carlos.....	Pág.120
2.4 INTEGRACIÓN DE MODELOS BIM EN REALIDAD AUMENTADA PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES Núñez-Fernández, Mario Collado-Mariscal, Darío; Bejarano-Torres, Marta; Cortés-Pérez, Alfonso y Cortés-Pérez, Juan Pedro.....	Pág.130
2.5 USING BIM TO INCREASE THE EFFICIENCY OF ENERGY-DRIVEN RETROFITTING PROJECTS Grego, Anne; Chance, Shannon y McAuley, Barry.....	Pág.142
2.6 ADAPTACIÓN DE CÓDIGO LOCAL DE DISEÑO DE SISTEMA DOMICILIARIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO CON BIM Atencio-Castillo, Edison,; Pablo Araya, Francisco Oyarce, Felipe Muñoz-La Rivera, Lozano-Galant, Fidel y Lozano-Galant, José.....	Pág.152
3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM	
3.1 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN MEDIANTE CUADRO DE MANDO ASOCIADO A UN VISOR WEB BIM-GIS PARA EL PROYECTO DEL TREN MAYA, MÉJICO Roldán-Hernández, Agustín; Jiménez-Gil, Jonás	Pág.166
3.2 BIZKAIA CONNECTED CORRIDOR (BCC) - LIVING LAB SENSORIZADO PARA TESTEO Y VALIDACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INFRAESTRUCTURAS SEGURAS Y CONECTADAS Quintana-Romo, Mikel; Capelastegui-Lasso, Abel y Alonso-Fernández, Olga.....	Pág.176
3.3 HUBE: DEL PROYECTO DE EJECUCIÓN AL DISEÑO Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN Pedrajas-García, Rafael; Van Horenbeke-García, Álvaro; Cortés-Jiménez, Hernán; Rosel-Ruiz, Iván y Borraz-Mir, Antón.....	Pág.188
3.4 EVOLUCIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL. PROYECTO DE ADAPTACIÓN DEL ESPIGÓN DEL TURIA EN EL PUERTO DE VALENCIA León-García, José Ignacio; Ureña Bolaños, Rosa.....	Pág.201
3.5 FEDERACIÓN, DIVISIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS DE MODELOS IFC CON HERRAMIENTAS DE BAJO COSTE Y ALTA DISPONIBILIDAD. Carballo-Solla, Rogelio; Sánchez-Juncal, Evelio E.; Tenorio-Aranguren, Rafael y Valderrama- Rodríguez, Jesús.....	Pág.213
3.6 CONTROL DE LA OBRA POLIDEPORTIVO LA CEBADA MEDIANTE NUBE DE PUNTOS EN ENTORNO BIM Romero-Ortega, Esteban y Planell-Catalán, Ignacio.....	Pág.224
3.7 APLICACIONES DEL IFC 4.3 EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES, CASOS DE USO Natale, Roberto; Furcolo, Nicola, Cianciulli, Michelangelo, D’Urso, Alfonso.....	Pág.232
3.8 IMPLEMENTACIÓN BIM EN MEGAPROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Chuquín-Montoya, Frank; Sairitupa-Lopez, Mirna; Saire-Canales, Romina; Chuquin-Montoya, Cristhian.....	Pág.243



3.9 EL BIM/SIG EN LAS CARRETERAS EN SERVICIO.

Revuelta Coruña, Fco. Javier; Yarza Álvarez, Pedro y Vázquez Riera, Manuel..... Pág.254

FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM



LA HUELLA DE CARBONO QUE GENERAN LOS EDIFICIOS. PRINCIPALES DESAFÍOS Y APRENDIZAJES DE SU CÁLCULO DESDE LA FASE DE PROYECTO EN BIM.

Soust-Verdaguer, Bernardette

Instituto de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla, España. bsoust@us.es

Abstract

Current situation regarding CO₂ emissions from buildings and their short and medium-term consequences is described as catastrophic. To stop this situation and mitigate their consequences, current international sustainability strategies such as the Green Deal propose very radical changes in our development model and make it increasingly necessary to implement more effective and innovative measures to produce radical changes. Existing studies show that the building design phase has a great potential to reduce these emissions, being the phase where it is easiest and cheapest to implement changes. In this vein, Life Cycle Assessment (LCA) is a fundamental methodology for measuring the CO₂ emissions and obtaining the carbon footprint of buildings throughout their life cycle. However, its implementation in the design phase can be inaccurate and lead to wrong decisions. Hence, it is essential to consider aspects such as the management of environmental data sources or the organisation of building information. This paper presents the main aspects to consider when calculating the building carbon footprint, the key aspects, possible risks, errors, and solutions to deal with them.

Keywords: *Life Cycle Assessment, Carbon Footprint, Design process; Environmental Impact Assessment.*

Resumen

El panorama actual en relación con las emisiones de CO₂ que generan los edificios y sus consecuencias a corto y mediano plazo se sitúa como catastrófico. Para frenar esta situación y mitigar sus consecuencias, actuales estrategias internacionales tales como el “Green Deal” plantean cambios radicales en nuestro modelo de desarrollo, promoviendo medidas que produzcan cambios radicales. Estudios demuestran que la fase de diseño de los edificios tiene un enorme potencial para reducir estas emisiones, siendo la fase donde resulta más sencillo y menos costoso implementar estos cambios. En ese sentido el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) constituye una metodología fundamental para medir las emisiones de CO₂ y obtener la huella de carbono que generan los edificios durante su ciclo de vida. Pero su implementación en fase de proyecto puede resultar poco exacta y esto conducir a decisiones erróneas. Por lo que resulta fundamental tener en cuenta aspectos como el manejo de las fuentes de datos ambientales o la organización de la información de edificio. En esta comunicación se presentan los principales aspectos para tener en cuenta en el cálculo de la huella de carbono durante la fase de diseño en BIM, incluyendo posibles errores, problemas y alternativas para abordarlos.

Palabras clave: *Análisis del Ciclo de Vida; Huella de Carbono; Proceso de Diseño; Evaluación de Impactos ambientales.*

Introducción

Diversos estudios científicos sitúan el panorama actual en relación con las emisiones de CO₂ y sus consecuencias a corto y mediano plazo como catastróficas (IEA, 2019). En este sentido el espacio construido juega un rol muy importante, siendo responsable del 40% de las emisiones de efecto invernadero (IEA, 2019). Por lo que uno de los principales retos en los próximos años en España es aproximar el sector de la Edificación hacia un Modelo de Edificación Sostenible conforme a sus Estrategias, Planes y Legislación (BOE, 2021). Las actuales estrategias internacionales de sostenibilidad tales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (UN, 2019) y europeas como el Green Deal (European Commission, 2019a) plantean cambios radicales en nuestro modelo de desarrollo. Esto sumado a las predicciones y evidencias científicas sobre los efectos del cambio climático (IEA, 2019) hacen cada vez más necesaria la implementación de medidas más efectivas e innovadoras que generen cambios radicales. De hecho, se sabe que el escenario de mejora de la eficiencia energética en el sector de la edificación se agota cuando se alcanzan por ejemplo estándares de consumo energético casi nulo (Cabeza et al., 2021), o cuando se alcanzan la utilización de fuentes renovables para el abastecimiento de energía en fase operacional. En el contexto actual en España, instrumentos como la Ley de Cambio Climático (BOE, 2021) y Estrategias de Descarbonización (MITECO, 2020) se enfocan mayoritariamente en medidas que no van más allá de la rehabilitación energética de los edificios y en la reducción de huella de carbono de las emisiones derivadas del consumo energético en fase operacional. Por ejemplo, promoviendo el autoconsumo a través de paneles fotovoltaicos o la transición hacia fuentes renovables de producción de electricidad. Aunque resultan insuficientes para alcanzar retos tan ambiciosos como la descarbonización del sector de la construcción. Esto implica la reducción progresiva y absoluta de las emisiones de gases de efecto invernadero (huella de carbono tanto incorporada como operacional) de todas las actividades que desarrollamos, planteándose el año 2050 como horizonte para alcanzar la neutralidad de estas emisiones (European Commission, 2019b). La huella de carbono incorporada constituye la relacionada con los materiales y productos que se instalan en el edificio, incluyendo procesos como la fabricación, construcción, transportes, entre otros. Para esto la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) resulta de vital importancia, dado que la “huella de carbono constituye la suma de las emisiones de gases de efecto invernadero y remociones de gases de efecto invernadero en un sistema producto, expresadas como CO₂ equivalente y basadas en esta metodología (ACV) utilizando como única categoría de impacto el cambio climático (CC) o potencial de calentamiento global” (PCG) (ISO, 2013).

La fase de diseño de los edificio resulta crucial para reducir los impactos ambientales que estos generan a lo largo de su ciclo de vida (Meex et al., 2018; Tschetwertak et al., 2017). Estudios demuestran (Kohler and Moffatt, 2003) que esta fase tiene una enorme potencialidad para reducir esos impactos, siendo la fase donde resulta más sencillo y menos costoso implementar cambios en el edificio.

Por otra parte iniciativas referentes en la descarbonización y desarrollo de edificios más sostenibles como el marco de evaluación Level(s) (Dodd et al., 2017), BUILD4people (European Commission, 2019), Building Life (WGBC, 2022), hacen especial hincapié en la necesidad de integrar la cuantificación de la huella de carbono en el proceso de diseño de los edificios. En ese sentido el marco de evaluación de la sostenibilidad Level(s) (Dodd et al., 2017) recomienda la integración del cálculo de la huella de carbono basado en el ACV en metodologías de diseño digital como Building Information Modelling (BIM). Una de las principales ventajas de la integración del ACV en BIM radica en la rapidez y facilidad de la cuantificación de los impactos ambientales durante la fase de diseño, posibilitando realizar cambios en el diseño y orientando la toma de decisiones (Basbagill et al., 2013). Por otra parte, se busca que los resultados obtenidos puedan ser comparables y representativos para el contexto de referencia. Pero en la práctica este tipo de cálculos aún presenta limitaciones, que generalmente tienen que ver con manejo de los datos y su utilización a lo largo del proceso de diseño de los edificios (IEA EBC, 2017; Obrecht et al., 2020).

Con el objetivo de poder ilustrar los principales avances en este ámbito, esta comunicación presenta un resumen de los resultados más relevante obtenidos en el marco de proyectos de investigación enfocados en este tema (IEA EBC, 2017; Llatas, 2017; Llatas, 2021a; Llatas, 2021b; Llatas, 2022). En primer lugar, se

presentan los principales desafíos existentes (Sección 1), y luego se proponen posibles caminos para solventarlos (Sección 2).

1. Aproximación metodológica del ACV para el cálculo de la huella de carbono en BIM. Principales inconvenientes y desafíos

La metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se basa en la implementación de 4 fases fundamentales (ISO, 2006b, 2006a, 2013): 1) la definición de alcances y objetivos, 2) el inventario del ciclo de vida, 3) la evaluación de los impactos del ciclo de vida y 4) la interpretación de los resultados. En la primera fase será necesario definir los límites del sistema en el que se enfocará la evaluación (tanto físicos, como temporales, es decir los elementos del edificio que se incluirán en el cálculo y las fases del ciclo de vida y módulos de información que se incluirán en el análisis) y la unidad funcional/equivalente funcional (corresponde a la unidad a la que se van a relacionar los impactos que se calcularán. Dentro de estas fases, el análisis del inventario representa la más compleja y la que demanda mayor cantidad de tiempo para realizarse (Soust-Verdaguer et al., 2017). Esta fase implica la recopilación de todas las entradas y las salidas del sistema, y es aquí donde la utilización del BIM puede contribuir a reducir esfuerzos y simplificar la aplicación de la metodología (Soust-Verdaguer et al., 2016).

No obstante, a pesar de las potenciales ventajas que tiene la implementación del cálculo de la huella de carbono que generan los edificios durante la fase de diseño e integrada en la metodología BIM, diversos estudios (IEA EBC, 2017; Obrecht et al., 2020) señalan algunas limitaciones o cuestiones que pueden conducir a errores involuntarios, que requieren especial atención. En la Tabla 1 se incluyen algunos de los más relevantes y su relación con la fase del método del ACV.

Tabla 1. Relación de las fases del método del ACV con los posibles inconvenientes o riesgos. Fuente: elaboración propia.

Fase del método de ACV	Posible inconveniente o riesgo
1) Definición de límites del sistema	Variabilidad en los resultados a lo largo del proceso de diseño. Dificultades en la organización y uso de la información del edificio contenida en el modelo BIM.
2) Análisis del Inventario	Dificultades en la organización y uso de la información del edificio contenida en el modelo BIM. Complejidad de modelado de procesos.
3) Evaluación de impactos	Variabilidad en tipos de datos, problemas de interoperabilidad y flujos de trabajo. Complejidad de modelado de procesos.
4) Interpretación de los resultados	Variabilidad en los resultados a lo largo del proceso de diseño.

1.1. Variabilidad en los resultados a lo largo del proceso de diseño

Uno de los posibles inconvenientes a la hora de realizar este tipo de evaluaciones durante la fase de diseño de los edificios en BIM, es la variabilidad descontrolada que pueden alcanzar los resultados del ACV para el cálculo de la huella de carbono del edificio, que podría en ocasiones llevarnos a tomar decisiones erróneas. Por ejemplo, el estudio desarrollado por Hollberg et al., (2020) que buscaba medir la variabilidad de los resultados del cálculo de la huella de carbono a lo largo del proceso de diseño en BIM, demuestra que existen posibilidades de no alcanzar un comportamiento constante o predecible que pueda orientar de forma sistemática la toma de decisiones para reducir la huella de carbono de los edificios desde fases tempranas de diseño (véase Figura 1).



Fig. 1 Evolución de los resultados totales de la huella de carbono incorporada, expresada en GWP toneladas de CO₂ eq. a lo largo del proceso de diseño. Fuente: Hollberg, A. et al. (2020).

1.2. Dificultades en la organización y uso de la información del edificio contenida en el modelo BIM

La elaboración del inventario del ciclo de vida del edificio implica la recopilación de una gran cantidad de información sobre el edificio, incluyendo todos los materiales, productos y procesos que intervienen durante su ciclo de vida. Aquí uno de los posibles inconvenientes son las dificultades en la organización y sistematización de la información sobre el edificio, ya que dependiendo del nivel de detalle y desagregación de la información que se considera sobre el edificio serán los resultados de la huella de carbono que se obtendrán. Esto a su vez tendrá que ver con el LOD (Level Of Development) y LOIN (Level of Information Needed) del modelo BIM que se utiliza para calcular la huella de carbono del edificio.

Otra de las cuestiones que presenta limitaciones es la forma de extracción de las cantidades de los materiales, que en ocasiones puede variar dependiendo del software nativo BIM que se utilice. Por otra parte, este software también define las posibilidades de extracción de materiales y productos del modelo BIM (Olsen and Taylor, 2017) lo que implica que no siempre se podrá extraer el mismo tipo de información del edificio.

1.3. Variabilidad en tipos de datos, interoperabilidad y flujos de trabajo

La aplicación del ACV en edificios además de requerir la recolección de una gran cantidad de datos sobre el edificio, elementos y materiales que lo componen, implica la incorporación de datos ambientales sobre estos. Pero para que la evaluación resulte representativa para el contexto de análisis, es importante que se utilicen datos ambientales específicos, que hayan sido desarrollados para el contexto de referencia. Aquí una de las mayores limitaciones es la escasez de datos ambientales específicos (no siempre existen para todos los contextos) y la accesibilidad a las bases de datos ambientales genéricas.

Los datos ambientales genéricos son aquellos que no se recogen, miden o estiman directamente, sino que proceden de una base de datos elaborada por terceros (especialista en el este campo) que se utilizan para completar el inventario del ciclo de vida del edificio (Recchioni et al., 2014).

Los datos ambientales específicos están regulados por las normas EN 15804 (EN, 2012) y EN 15978 (EN, 2011), y constituyen las denominadas Environmental Product Declarations (EPD) o Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) en español. Este tipo de declaraciones busca simplificar el manejo de los datos ambientales sobre los materiales y productos del edificio. El procedimiento propuesto por estas normas implica contar con una EPD o DAP por cada material, producto y proceso que forma parte del inventario de ciclo de vida de edificio. Para obtener los resultados de la huella de carbono del edificio será necesario multiplicar las cantidades de materiales, productos y procesos (extraídos mayoritariamente del modelo BIM) por los resultados de PCG extraídos de la EPD o DAP. El uso de este tipo de declaraciones es recomendado por la comunidad científica (Palumbo et al., 2020), ya que permite obtener resultados más próximos a la realidad. Este tipo de datos, a diferencia de los datos ambientales genéricos, han sido

generalmente desarrollados utilizando datos primarios sobre el consumo de electricidad, combustibles fósiles, etc. por lo que reflejará de forma directa el mix energético de la región y la empresa que fabrica el producto o material, las tecnologías utilizadas, etc. Pero existen limitaciones relacionadas con la disponibilidad de estos datos a nivel local y regional. En el caso de España la disponibilidad de DAPs de productos de la construcción aún es limitada, en lo que respecta al número y tipo de productos y materiales, así como en el grado de digitalización e interoperabilidad de esta información (Soust-Verdaguer et al., 2023). Actualmente, el manejo y desarrollo de este tipo de datos es voluntario para los fabricantes de materiales.

1.4. Complejidad de modelado de procesos

Existen a nivel metodológico algunas cuestiones que tiene que ver con el modelado de procesos que no puede realizarse a través del uso de EPDs o DAPs, ya que estos tienen limitada información sobre los procesos de construcción, uso, reparación, mantenimiento, entre otros. Por otra parte, para este tipo de procesos la utilización del modelo BIM como ayuda para la elaboración del inventario de ciclo de vida puede ser limitada, ya que implica la incorporación de procesos que no siempre pueden ser asociados al listado de materiales o productos que componen el edificio (por ejemplo, la utilización maquinaria, andamios o equipos auxiliares).

2. Posibles soluciones y aspectos para tener en cuenta

Partiendo los resultados más relevante obtenidos en el marco de proyectos de investigación enfocados en este tema (IEA EBC, 2017; Llatas, 2017; Llatas, 2021a; Llatas, 2021b; Llatas, 2022), en la Tabla 2 se detallan algunas de las posibles soluciones para abordar los problemas mencionados en la Sección 1.

Tabla 2. Relación de los posibles inconvenientes o riesgos detectados y las posibles soluciones para abordarlos. Fuente: elaboración propia.

Posible inconveniente o riesgo detectado	Posible solución
Variabilidad en los resultados a lo largo del proceso de diseño.	Definición armonizada de las fases de diseño y descomposición sistemática del edificio.
Dificultades en la organización y uso de la información del edificio contenida en el modelo BIM.	Definición de flujos de trabajo, herramientas y fuentes de datos
Variabilidad en tipos de datos, interoperabilidad y flujos de trabajo	Definición de flujos de trabajo, herramientas y fuentes de datos
Complejidad de modelado de procesos	Gestión de la incertidumbre, interpretación y visualización de los resultados

2.1 Definición armonizada de las fases de diseño y descomposición sistemática del edificio

Para la evaluación de la huella de carbono durante el proceso de diseño resulta relevante que pueden identificarse los principales hitos, los cuales facilitarán la sistematización de la información disponible sobre el edificio. Esto hace necesario que exista la definición de las fases de diseño de los edificios, donde se detallan los objetivos principales de cada etapa de diseño, los niveles de desarrollo (LOD) y LOIN (Level of Information Needed) (véase Figura 2).

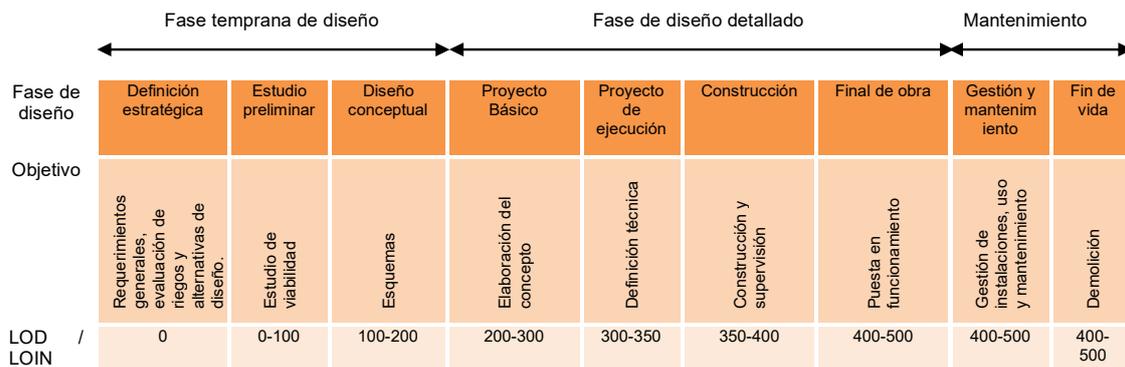


Fig. 2 Definición de las fases de diseño del edificio. Fuente: elaboración propia basado en IEA EBC Annex 72 (2023).

A medida que se avanza en el proceso de diseño de los edificios, los datos y la información disponible son cada vez más exactos y cercanos a la realidad. Por lo tanto, se recomienda descomponer la información del edificio en función de la granularidad de los datos disponibles en determinadas fases del proceso de diseño. El edificio puede descomponerse en una serie de "sistemas", "elementos", componentes, productos, materiales, tipologías y fabricantes (por ejemplo, sistemas, partes, elementos, componentes, materiales o fabricantes específicos) y la descomposición debe realizarse siguiendo estructuras específicas (Soust-Verdaguer et al., 2023).

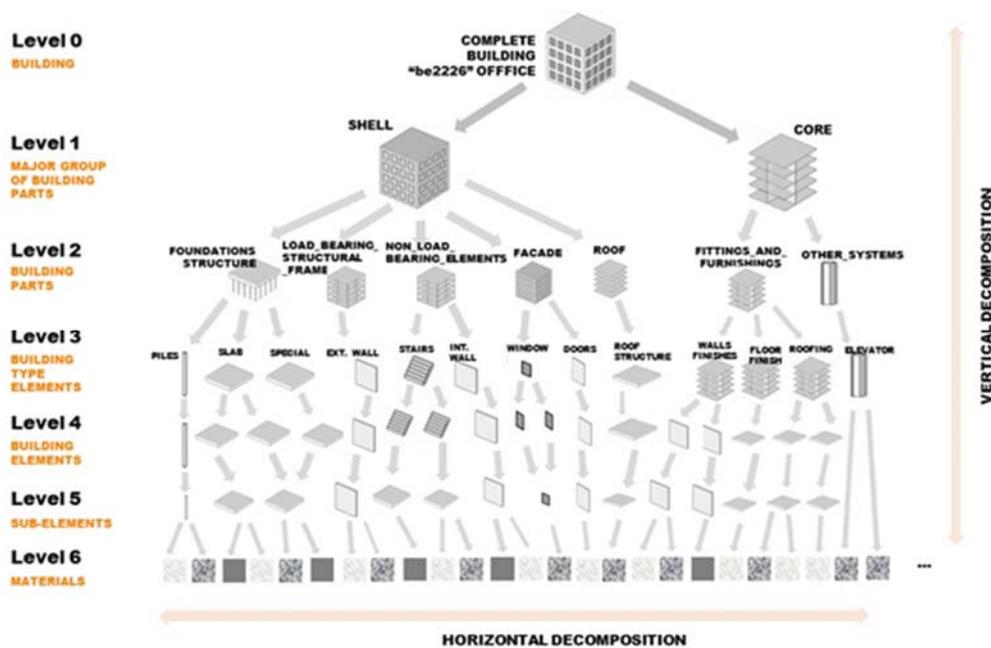


Fig. 3 Ejemplo de descomposición sistemática del edificio utilizando niveles de jerarquía. Fuente: Soust-Verdaguer et al., (2020).

Por lo tanto, seguir una descomposición sistemática (utilizando normas técnicas de referencia como la (ISO, 2012)) puede mejorar la completitud de la fase de inventario del ciclo de vida, entre otras cosas. En ese sentido, es recomendable llevar adelante la descomposición sistemática acompañado al nivel de definición de la información sobre el edificio (según Figura 2), e incluyendo diferentes niveles de jerarquía (por ejemplo, edificio, elemento, material) (véase la Figura 3). Por lo tanto, para reducir la variabilidad descontrolada en los resultados del cálculo de la huella de carbono a lo largo de la fase de diseño de los edificios, es conveniente ajustar la información ambiental del edificio a los niveles de detalle de la información contenida en el modelo BIM, es decir utilizar bases de datos ambientales que incluyan datos de elementos del edificio (p.e. pilares, vigas, muros) para evaluaciones en fases tempranas de diseño y bases de datos de materiales y productos cuando realicemos evaluaciones en fases más detalladas de diseño.

2.2 Definición de flujos de trabajo, herramientas y fuentes de datos

Actualmente existe una amplia gama de software basadas en el ACV e integradas en flujo de trabajo en BIM, que pueden utilizarse en diferentes fases del proceso de diseño para calcular la huella de carbono que generan los edificios. En ese sentido es conveniente que se realice una selección cuidadosa de las mismas teniendo en cuenta además de los factores ya señalados, así como otras cuestiones. Para esto, Bari et al., (2022) analiza algunas de las cuestiones fundamentales a hora de decidir el tipo de herramienta (software, plug-in o add-in) que mejor se ajuste a los objetivos de la aplicación del ACV y el nivel de especialización del usuario, incluyendo características tales como la usabilidad, funcionalidad, fiabilidad, e interoperabilidad.

Por otra parte, la utilización de metodologías de ACV como la que propone Level(s) (Dodd et al., 2017) y el proyecto IEA EBC, (2017) aportan soluciones para definir los escenarios del ciclo del edificio, por ejemplo escenarios de mantenimiento reposición de elementos, que ayudan a generar hipótesis que puedan ser replicables y comparables.

2.3 Gestión de la incertidumbre, interpretación y visualización de los resultados

La evaluación de la huella de carbono durante la fase de diseño implica también la gestión de incertidumbres y factores que aún no ha sido definidos, pero que es necesario manejar de forma correcta para alcanzar resultados coherentes. En este sentido IEA EBC, (2017) reconoce dos posibles tipos de incertidumbre con las que se debe lidiar: i) las incertidumbres exógenas, es decir, aquellas sobre la que el diseñador no puede influir y ii) las incertidumbres generadas durante la fase de diseño, es decir, incertidumbres sobre las que el diseñador puede influir. Para esta últimas se proponen 2 posibles formas de abordarlas. La primera propone que el cálculo del ACV se adapte al nivel de detalle disponible a lo largo del proceso de diseño. Esto significa que, en las primeras fases del diseño, se necesita incorporar información que incluyan supuestos e hipótesis sobre el proceso, materiales y productos, aunque el diseñador no los haya especificado en el modelo BIM. En ese caso, aunque un muro se represente sólo como un volumen, para el ACV del diseño inicial, ya significa una cantidad determinada de material asumiendo un tipo de construcción determinado (por ejemplo, el más frecuente). Este método utilizado por Cavalliere et al., (2019) resulta clave para guiar a los diseñadores hacia la solución que genera la menor huella de carbono, arrojando resultados coherentes a lo largo del proceso de diseño. La segunda estrategia está centrada en la optimización, se realiza un cálculo paramétrico del ACV en las primeras fases del diseño, con el fin de identificar los parámetros más influyentes. Esta simulación mostrará a los diseñadores los 5 a 10 parámetros que deben fijar desde el principio del diseño para reducir al máximo las incertidumbres.

La interpretación de los resultados de ACV, su visualización y comunicación a los diferentes actores intervinientes en el proceso de diseño es otras de las cuestiones de vital importancia. Por lo tanto, tener claro el propósito de los resultados (por ejemplo, optimizar un determinado sistema (estructura, envolvente, etc.)), resulta clave para encarar el cálculo de forma organizada y enfocada en objetivos que se pretenden alcanzar. Con el fin de orientar la elección del tipo de visualización de los resultados del ACV, se ha desarrollado una herramienta de ayuda a la selección que puede consultarse en Hollberg et al., (2021).

3. Consideraciones finales, conclusiones y futuros desafíos

Existe un gran potencial en la integración de metodologías de cálculo de la huella de carbono que generan los edificios en herramientas digitales de diseño, las cuales ayudarán a alcanzar objetivos tan ambiciosos como el de la descarbonización. De acuerdo con los resultados obtenidos, las principales limitaciones existentes se sitúan del lado del manejo de los datos tanto del edificio como de los datos ambientales sobre los materiales, productos y procesos que componen el edificio. El uso de procedimientos y métodos cada vez más sistematizados contribuyen a solventarlos, acercándose a resultados más fiables, comparables y representativos para el contexto en el que se emplaza el edificio.

No obstante, otras cuestiones como el nivel de digitalización de los datos ambientales, el grado de interoperabilidad, y la escasez de datos ambientales específicos requiere de estrategias más extensas para

su abordaje. En ese sentido es importante destacar que futuros desafíos se sitúan en incrementar el nivel el desarrollo de la integración del cálculo y evaluación de la huella de carbono que generan los edificios a lo largo de su ciclo de vida en el proceso de diseño. Esto requiere del apoyo de diversos actores que intervienen en el sector de la construcción (arquitectos, constructores, fabricantes de materiales, representantes de las administraciones públicas, entre otros) y que resulta cada vez más urgente la consecución de procesos que resulten sencillos y asumibles por todos los actores involucrados.

Referencias

DI BARI, R., HORN, R., BRUHN, S., ALAUX, N., RUSCHI MENDES SAADE, M., SOUST-VERDAGUER, B., POTRČ OBRECHT, T., HOLLBERG, A., BIRGISDOTTÍR, H., PASSER A. 2022. "Buildings LCA and Digitalization: Designers' Toolbox Based on a Survey." in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1078, sbe22 Berlin D-A-CH conference: Built Environment within Planetary Boundaries (SBE Berlin) 20/09/2022 - 23/09/2022 Berlin*.

BASBAGILL, J., FLAGER, F.; LEPECH, M.; FISCHER, M. 2013. "Application of Life-Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts." *Building and Environment* 60:81–92. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009.

España. Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética. *BOE*, 21 de mayo de 2021. p. 8.

CABEZA, L. F., BOQUERA, L., CHÀFER, M., VÉREZ, D. 2021. "Embodied Energy and Embodied Carbon of Structural Building Materials: Worldwide Progress and Barriers through Literature Map Analysis." *Energy and Buildings*. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110612.

CAVALLIERE, C., HABERT, G., RAFFAELE DELL'OSSO, G., HOLLBERG, A. 2019. "Continuous BIM-Based Assessment of Embodied Environmental Impacts throughout the Design Process." *Journal of Cleaner Production* 211:941–52. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.11.247.

DODD, N., CORDELLA, M., TRAVERSO, M., DONATELLO, S 2017. *Level(s)-A Common EU Framework of Core Sustainability Indicators for Office and Residential Buildings Parts 1 and 2: Introduction to Level(s) and How It Works (Draft Beta v1.0)*. doi: 10.2760/827838.

EN. 2011. "EN 15978:2011 - Sustainability of Construction Works - Assessment of Environmental Performance of Buildings - Calculation Method." *International Standard* (November).

EN. 2012. "EN 15804:2012 + A2:2019 - Sustainability of Construction Works — Environmental Product Declarations — Core Rules for the Product Category of Construction Products." *International Standard* (February):70.

EUROPEAN COMMISSION. 2019a. *The European Green Deal*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

EUROPEAN COMMISSION. 2019b. *European Partnerships under Horizon Europe Built4People | People-Centric Sustainable Built Environment*. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52019DC0640>> [Consulta: 5 de marzo de 2023]

HOLLBERG, A., GENOVA, G., HABERT, G. 2020. "Evaluation of BIM-Based LCA Results for Building Design." *Automation in Construction* 109:102972. doi: 10.1016/j.autcon.2019.102972.

IEA EBC. 2017. "IEA EBC ANNEX 72." (<http://www.iea-ebc.org/projects/ongoing-projects/ebc-annex-72/>) [Consulta: 5 de marzo de 2023].

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). 2019. *Global Status Report for Buildings and Construction 2019*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3da9daf9-ef75-4a37-b3da-a09224e299dc/2019_Global_Status_Report_for_Buildings_and_Construction.pdf> [Consulta: 5 de marzo de 2023]

ISO. 2006a. *ISO 14040:2006 Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework*. Vol. 3. Ginebra, ISO

ISO. 2006b. "ISO 14044 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines." Ginebra: ISO

ISO. 2012. "ISO 12006-2 : 2015 - Building Construction - Organization of Information about Construction Works - Part 2 : Framework for Classification of Information." Ginebra: ISO

- ISO. 2013. "ISO 14067:2013 Greenhouse Gases — Carbon Footprint of Products — Requirements and Guidelines for Quantification and Communication." Ginebra: ISO
- KOHLER, N., MOFFATT, S. 2003. "Life-Cycle Analysis of the Built Environment." UNEP Industry and Environment 26(United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics Publication):17–19.
- LLATAS, C. 2022. BIM-ZEN. Ayuda Al Diseño Inteligente En BIM Para Envoltentes de Edificios Con Emisiones Netas de Carbono Incorporado Cero En España (TED2021-129542B-I00).
- LLATAS, C. 2017. Elaboración de Una Herramienta Unificada Para La Cuantificación y Reducción Del Impacto Ambiental, Social y Económico Del Ciclo de Vida de Los Edificios En Plataformas BIM.
- LLATAS, C. 2021a. EVA-BIM. Evaluación de Viviendas En Building Information Modelling En Andalucía.
- LLATAS, C. 2021b. ODISEA. Optimización Para El Diseño Inteligente y Sostenible de Edificios En Andalucía.
- MEEEX, E., HOLLBERG, A., KNAPEN, E., HILDEBRAND, L., VERBEECK, G. 2018. "Requirements for Applying LCA-Based Environmental Impact Assessment Tools in the Early Stages of Building Design." *Building and Environment* 133:228–236. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.016. Meex, Elke, Alexander Hollberg, Elke Knapen, Linda Hildebrand, and Griet Verbeeck. 2018. "Requirements for Applying LCA-Based Environmental Impact Assessment Tools in the Early Stages of Building Design." *Building and Environment* 133:228–236. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.016.
- MITECO. MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO DE ESPAÑA. 2020B. "Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050." *Marco Estratégico de Energía y Clima*. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/documentoelp_tcm30-516109.pdf> [Consulta: 5 de marzo de 2023]
- POTRČ OBRECHT, T., RÖCK, M., HOXHA, E., PASSER, A. 2020. "BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review." *Sustainability (Switzerland)* 12(14). doi: 10.3390/su12145534.
- OLSEN, D., TAYLOR, J M. 2017. "Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors." in *Creative Construction Conference 2017, CCC 2017, 19-22 June 2017, Primošten, Croatia*.
- PALUMBO, E., SOUST-VERDAGUER, B., TRAVERSO, M., LLATAS, C. 2020. "How to Obtain Accurate Environmental Impacts at Early Design Stages in BIM When Using Environmental Product Declaration? A Method to Support Decision-Making." *Sustainability* 12.
- RECCHIONI, M., FAZIO, S., SCHAU, E., GORALCZYK, M., MANCINI, L., MATHIEUX, F., DE CAMILLIS, C., ARDENTE, C., PENNINGTON, D., ALLACKER, K., PANT, R., SALA, S., BENINI, L. 2014. Roadmap for the European Platform on Life Cycle Assessment: Facilitating Data Collection and Sustainability Assessments for Policy and Business.
- SOUST-VERDAGUER, B., GALEANA, I. B., LLATAS, C., MONTES, M. V., HOXHA, E., PASSER, A. 2021. "How to Conduct Consistent Environmental, Economic, and Social Assessment during the Building Design Process. A BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment Method." *Journal of Building Engineering* 45:103516. doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103516..
- SOUST-VERDAGUER, B., POTRČ OBRECHT, T., ALAUX, N., HOXHA, E., SAADE, M. R M, RÖCK, M., GARCIA-MARTINEZ, A., LLATAS, C., GÓMEZ DE CÓZAR, J.C., PASSER, A.. 2023. "Using Systematic Building Decomposition for Implementing LCA: The Results of a Comparative Analysis as Part of IEA EBC Annex 72." *Journal of Cleaner Production* 284(135422).
- SOUST-VERDAGUER, B., GARCÍA-MARTÍNEZ, A., LLATAS, C., GÓMEZ DE CÓZAR, J. C., ALLACKER, K., TRIGAUX, D., ALSEMA, E., BERG, B., DOWDELL, D., DEBACKER, W., FRISCHKNECHT, R., RAMSEIER, L., VESELKA, J., VOLF, M., HAJEK, P., LUPÍŠEK, A., MALIK, Z., HABERT, G., HOLLBERG, A., LASVAUX, S., PEUPORTIER, B., POMPONI, F., WASTIEL, L., GOMES, V., ZARA, O., GOMES, M., GUSSON BAIOCCHI, A., PULGROSSI, L., OUELLET-PLAMONDON, C., MONCASTER, A., DI BARI, R., HORN, R., LENZ, K., BALOUKTSI, M., LÜTZKENDORF, T., RÖCK, M., HOXHA, E., PASSER, A. 2020. "Implications of Using Systematic Decomposition Structures to Organize Building LCA Information: A Comparative Analysis of National Standards and Guidelines- IEA EBC ANNEX 72." *IOP Proceedings Earth and Environmental Science Journal*.
- SOUST-VERDAGUER, B., LLATAS, C., GARCÍA-MARTÍNEZ, A. 2016. "Simplification in Life Cycle Assessment of Single-Family Houses: A Review of Recent Developments." *Building and Environment* 103:215–27. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.04.014.
- SOUST-VERDAGUER, B., LLATAS, C., GARCÍA-MARTÍNEZ, A. 2017. "Critical Review of BIM-Based LCA Method to Buildings." *Energy and Buildings* 136(1):110–20. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.009.

La huella de carbono que generan los edificios. Principales desafíos y aprendizajes de su cálculo desde la fase de proyecto en BIM. Soust-Verdaguer, B.

SOUST-VERDAGUER, B., PALUMBO, E., LLATAS, C., VELASCO ACEVEDO, Á., FERNÁNDEZ GALVÉZ, M. D., HOXHA, E, PASSER, A.2023. "The Use of Environmental Product Declarations of Construction Products as a Data Source to Conduct a Building Life-Cycle Assessment in Spain." *Sustainability* 15(2):1284.

TSCHETWERTAK, J., SCHNEIDER, S., HOLLBERG, A., DONATH, D, RUTH, J. 2017. "A Matter of Sequence: Investigating the Impact of the Order of Design Decisions in Multi-Stage Design Processes." Pp. 100–120 in *Communications in Computer and Information Science*. Vol. 724.

UN -United Nations. 2019. *The Sustainable Development Goals Report 2019*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf> / [Consulta: 5 de marzo de 2023]

WGBC. 2022 *Building Life*. <<https://worldgbc.org/buildinglife/>> [Consulta: 5 de marzo de 2023]



AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS PARA GENERAR MODELOS IFC. APLICACIÓN EN DOS CASOS DE ESTUDIO

Pérez-García, Ana^a; Martín-Dorta, Norena^a y Aranda, José Ángel^b

^aDepartamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura, Universidad de La Laguna, Avenida Ángel Guimerá Jorge, s/n., 38200 La Laguna, España; aperezga@ull.edu.es, nmartin@ull.edu.es

^bDepartamento de Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València, Cno. de Vera, s/n., 46022 Valencia, España; jaranda@upv.es.

Abstract

Currently there is a good set of tools that allow the use of the BIM methodology, but they are mainly closed source commercial software. This makes it difficult to reuse the data and automate it in the different phases of the asset's life cycle.

This work approaches the automation of processes based on the BIM modelling with Blender in two case studies, through the development of Python scripts: an arch bridge type structure, frequently used in civil engineering, and a basic architectural model. For this purpose, a tool was developed in Python extension format for Blender, with the IfcOpenShell library, to export models created to the standard exchange schema IFC (Industry Foundation Classes).

The proposal provides a simplification of the processes necessary to carry out the IFC modelling of a structure and a basic architectural model such as those presented in the case studies. Currently we have to classify the modelled elements one by one. The developed extension allows to model and then perform the assignment to IFC entities to all the elements of the BIM model.

Keywords: BIM, openBIM, IFC, Open Source, Blender, Python, IfcOpenShell.

Resumen

Actualmente existe un buen conjunto de herramientas que permiten la aplicación de la metodología BIM, pero se trata principalmente de herramientas comerciales de código cerrado. Esto dificulta la reutilización de los datos y su automatización en las distintas fases del ciclo de vida del activo.

Este trabajo aborda la automatización de procesos a partir del modelado BIM con Blender de dos casos de estudio, mediante el desarrollo de scripts en Python: una estructura tipo puente arco, de uso frecuente en la ingeniería civil, y un modelo arquitectónico básico. Con este objetivo, se desarrolla una herramienta en formato de extensión para Blender en Python, con la librería IfcOpenShell, para la exportación de los modelos creados al esquema de datos IFC (Industry Foundation Classes).

La propuesta aporta una simplificación de los procesos necesarios para llevar a cabo el modelado IFC de una estructura y de un modelo arquitectónico básico como los presentados en los casos de estudio. Actualmente tenemos que clasificar uno a uno los elementos modelados. La extensión desarrollada permite modelar y luego realizar la asignación a entidades IFC a todos los elementos del modelo BIM.

Palabras clave: BIM, openBIM, IFC, Open Source, Blender, Python, IfcOpenShell.

Introducción

Se entiende por *Modelo* a la representación de las características de una entidad, ya sea concreta o abstracta. El propósito de un *Modelo* es permitir la visualización y la comprensión de la estructura o el comportamiento de la entidad, proporcionando un medio conveniente para la experimentación y la predicción (Foley et al., 1996).

La metodología Building Information Modelling (BIM) permite la representación integral de la geometría 3D de activos, tanto del sector de la arquitectura como de la ingeniería civil. Los modelos generados son paramétricos y están basados en objetos, lo que supone una gran ventaja en términos de integración de datos (Deshpande et al., 2014). El empleo de BIM, por tanto, posibilita la detección de conflictos o incompatibilidades entre las distintas partes que componen una edificación o infraestructura durante la fase de diseño o proyecto, así como su adecuado control geométrico, topográfico, estructural, etc., durante las fases de construcción y mantenimiento.

Los modelos BIM también permiten afrontar los retos de la interoperabilidad (Justo et al., 2023). Se trata de una característica clave para que los datos puedan ser intercambiados y reutilizados a lo largo del ciclo de vida de un activo, facilitando la colaboración entre los diferentes profesionales. Asimismo, permite integrar distintos tipos de datos, para su empleo en diversos casos, como el análisis energético, la expedición de licencias de obra, la documentación de materiales, entre otros. Los distintos agentes pueden intercambiar información utilizando un esquema abierto como el Industry Foundation Classes (IFC), cuyo objetivo es cubrir de forma exhaustiva los requisitos de datos en el sector de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones (AECO), describiendo conceptos tanto físicos como abstractos de los diferentes componentes y procesos de construcción (Noardo et al., 2021).

Actualmente existen un buen conjunto de herramientas que permiten la aplicación de la metodología BIM. Éstas se pueden clasificar en tres categorías básicas en función de la licencia, que es el instrumento legal que rige el uso del software: software comercial, gratuito y de código abierto (Logothetis & Stylianidis, 2016). Las herramientas comerciales habitualmente son de código cerrado o concentrado en su propio ecosistema. Esto puede añadir dificultades, en algunos casos, para la reutilización de los datos y su automatización en las distintas fases del ciclo de vida de los activos. Como contraste, existen herramientas de código abierto con el potencial necesario para el desarrollo de modelos BIM. Éstas emplean estándares abiertos en su diseño e interfaces (i. e. formatos neutrales, no propietarios) facilitando el libre intercambio de datos. Además, permiten a cualquier persona con conocimientos suficientes, la introducción de modificaciones en el propio software, añadiendo nuevas funcionalidades o extensiones (add-ons).

Este trabajo aborda la automatización de procesos para la producción de modelos BIM en el esquema de datos abierto y neutral IFC, con el software de código abierto Blender y el lenguaje de alto nivel Python. Se desarrollan dos casos de estudio: una estructura tipo puente arco, de uso frecuente en la ingeniería civil, y un modelo arquitectónico básico.

1. Metodología

1.1. Objetivos

La presente investigación se centra en la creación de dos extensiones—o lo que en Blender se denominan add-ons—que pretenden abordar tareas para mejorar los procesos de creación de modelos BIM con una herramienta de software de código abierto (open-source). Se desarrollan dos casos de estudio: un modelo arquitectónico básico y una estructura tipo puente arco. Cada una de las extensiones desarrolladas presenta diferentes funcionalidades, acordes a las necesidades de cada caso práctico. Se pretende como objetivo principal asignar, de forma automatizada, las clases IFC a las diferentes entidades que componen los modelos. Este proceso se desarrolla mediante llamadas al add-on BlenderBIM. Este módulo permite la lectura, escritura y análisis de modelos BIM en Blender. Está construido sobre la librería de Python

IfcOpenShell y permite a los desarrolladores poder interactuar con los archivos de modelos IFC (Wiki.OSArch, 2022).

1.2. Software y librerías

Blender es un software de diseño 3D libre y open-source, que posee una interfaz gráfica OpenGL personalizable con scripts de Python, al objeto de poder crear nuevos modelos de geometría o modificar objetos. Permite el empleo y desarrollo de extensiones, conocidas como add-ons en esta herramienta.

Python, por su parte, es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado o de script (Python Software Foundation, 2022). Se trata de un lenguaje interpretado o de script. Este tipo de lenguajes, a diferencia de los compilados—en los que el código fuente es traducido y ejecutado directamente por la máquina—, requiere del empleo de un programa intermedio llamado intérprete.

Las formas más comunes para la ejecución de fragmentos de código en Blender son la utilización del editor de texto incorporado en el programa, o la introducción de comandos en la consola de Python. Ésta última proporciona un método de acceso rápido a la API, es decir, al conjunto de instrucciones que proporciona Python para interactuar con Blender. Dentro del entorno de Blender, existen dos extensiones o add-ons que se han empleado como base para el desarrollo de los procedimientos propuestos. Éstas son Archipack¹ y BlenderBIM². Archipack es una extensión para el modelado arquitectónico, que posee una colección de objetos paramétricos orientados a este fin, así como una interfaz de edición a tiempo real en pantalla para la gestión de los mismos (Leger, 2020). En la actualidad existen dos versiones del add-on: una para Blender 2.79 y otra mejorada que funciona desde la versión 3.0 de Blender en adelante. BlenderBIM, por su parte, constituye una plataforma de generación de modelos BIM completa. Sus capacidades tienen un alcance similar al de otras plataformas de modelado, programas de cálculo de costes, programas de programación, paquetes CAD y programas de simulación (IfcOpenShell Contributors, 2022). La extensión funciona bajo la librería de Python IfcOpenShell y permite, asimismo, exportar los modelos 3D realizados en Blender al formato estándar de intercambio IFC.

1.3. Metodología

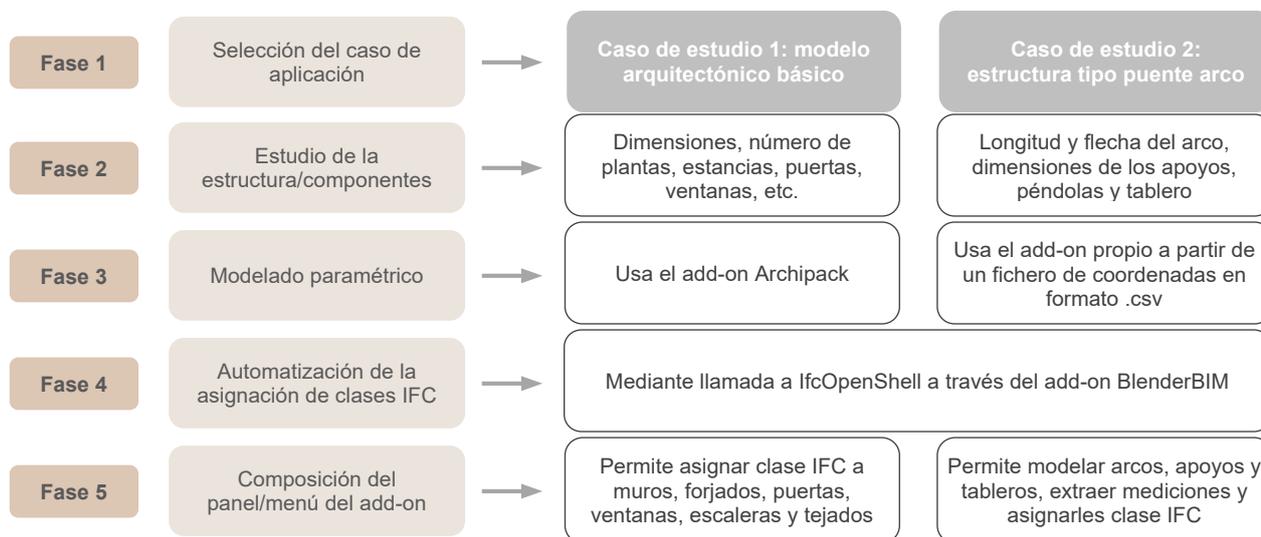


Fig. 1 Fases de la metodología propuesta

La metodología del trabajo de investigación aquí descrita se pueden resumir en las siguientes cinco fases: (1) selección del caso de aplicación, (2) estudio de la estructura/componentes, (3) modelado paramétrico, (4) automatización de la asignación de clases IFC, y (5) composición del panel del add-on (Fig. 1). En la

¹ Archipack <https://blender-archipack.org/es/>

² BlenderBIM <https://blenderbim.org/>

fase 1 se realiza una selección de los casos de estudio para la aplicación de las automatizaciones. Se seleccionan de dos ámbitos representativos: un caso del ámbito de la arquitectura y otro caso del ámbito de la ingeniería civil. La idea es explorar la posibilidad de realizar automatizaciones que nos son útiles y que actualmente no cubren los módulos BlenderBIM y Archipack. En la fase 2 se estudian las estructura y componentes de los dos casos a nivel de dimensiones, número de plantas, estancias, carpinterías, longitud y flecha del arco, dimensiones de los apoyos, péndolas y tablero, etc. Se analiza el proceso de modelado paramétrico desarrollado en Blender en la fase 3. En el caso del modelo arquitectónico básico se contempla el uso del add-on Archipack y en el caso de la estructura tipo puente arco se contempla utilizar un fichero de coordenadas en formato .csv que puede provenir de cualquier programa de cálculo. En la fase 4 se desarrolla los componentes de los add-ons que asigna entidades IFC a los elementos del modelo según los criterios establecidos. En la fase 5 se establecen los menús que dan acceso a las funciones de las extensiones desarrolladas.

2.1. Caso de Estudio 1: Aplicación a un Modelo Arquitectónico Básico

2.1.1. Descripción del modelo

Se trata de una edificación básica, de dos plantas, con una superficie construida por planta de ciento diecisiete metros cuadrados. El modelo cuenta con un total de quince puertas, veintitrés ventanas, tres losas, un tramo de escaleras interior para comunicar ambas plantas, y una cubierta inclinada (Fig. 2).

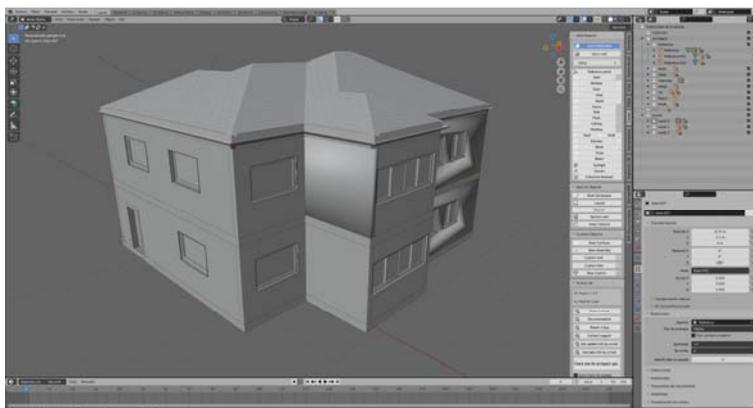


Fig. 2 Modelo arquitectónico básico. Visualización desde la interfaz de Blender. Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Desarrollo e implementación del add-on

En el marco del presente caso práctico, se ha desarrollado una extensión para Blender—haciendo uso del lenguaje de programación Python—, denominada *IFC Class Assignment*, cuyo objeto es servir de complemento a Archipack y BlenderBIM. Esta nueva funcionalidad permite una selección automatizada de los diferentes elementos creados con Archipack (muros, puertas, forjados, etc.), asignarles un nivel del edificio y la clase o entidad IFC adecuada.

El add-on está compuesto por dos scripts de Python: *operators.py* y *panel.py*. El primero de ellos permite la asignación de una clase IFC a cada uno de los elementos modelados—mediante llamada a las funcionalidades correspondientes de BlenderBIM—, mientras que el segundo constituye el menú gráfico del add-on, permitiendo invocar a cada una de las funciones y clases creadas en el script anterior. A su vez, este menú contiene un total de siete botones, correspondiendo cada uno de ellos a una clase de Python de las contenidas en el script *operators.py* (Fig. 3). Su funcionamiento se describe a continuación:

- El botón *Press to create the storeys* permite la modificación del árbol IFC que crea el add-on BlenderBIM, añadiendo de forma automática tantas clases *IfcBuildingStorey* como número de niveles o plantas tenga la edificación.

- El botón *Walls* posibilita asignar clase IFC a los muros y tabiques del modelo; el botón *Slabs*, a los forjados; los botones *Doors* y *Windows*, a puertas y ventanas respectivamente; el botón *Stairs*, a las escaleras; y el botón *Roofs*, a las cubiertas inclinadas o tejados, si las hubiera.

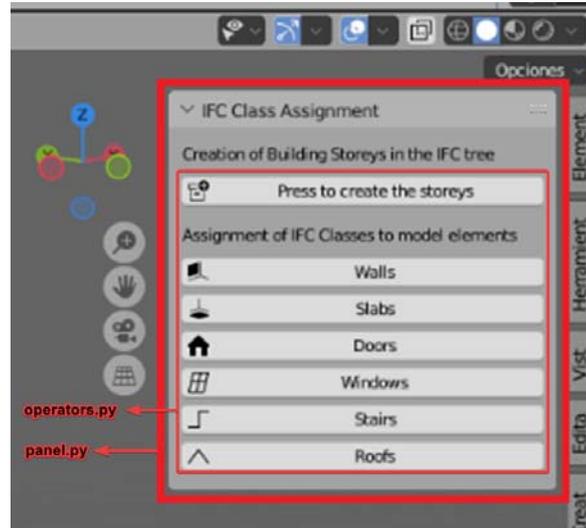


Fig. 3 Menú gráfico del add-on desarrollado. Fuente: Elaboración propia

El caso de las carpinterías—puertas y ventanas—es algo particular, puesto que se trata de elementos que, en su descomposición, presentan subentidades asociadas (marco de puerta/ventana, panel de puerta/ventana, tiradores, pomos, etc.) (Fig. 4). Esto genera incidencias en la asignación de las clases IFC. Para evitarlos, se ha creado de manera auxiliar una función que permite fusionar todas estas subentidades en una sola.

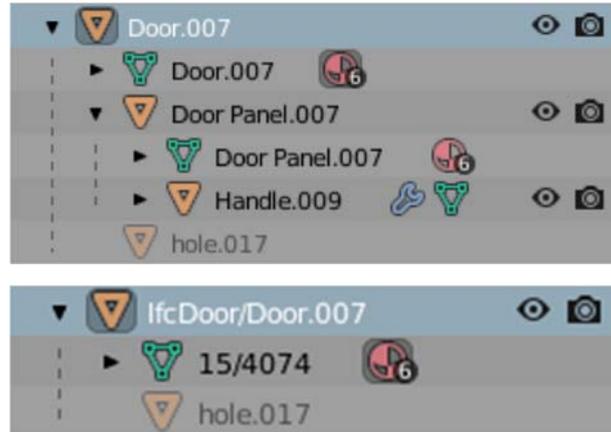


Fig. 4 Descomposición habitual de un elemento de carpintería (superior) y estructura tras la fusión de sus subentidades (inferior). Fuente: Elaboración propia

2.2. Caso de Estudio 2: Aplicación a una estructura tipo puente arco

2.2.1. Descripción del modelo

Se trata de un sistema estructural puente arco de, ochenta metros de luz y veintisiete metros de flecha. El arco descansa sobre dos pilares extremos, y sobre él se apoya el tablero, a través de un total de doce grupos de péndolas—seis a cada lado del eje transversal del arco—(Fig. 5).

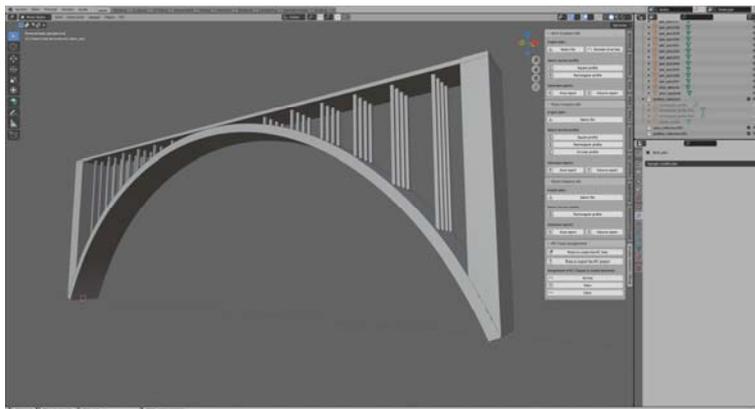


Fig. 5 Sistema estructural tipo puente arco. Visualización desde la interfaz de Blender. Fuente: Elaboración propia

La estructura modelada es una simplificación del tramo central del Viaducto de Fernando Hué (Fig. 6), ubicado en la ciudad de Teruel, Aragón, del que se poseían las coordenadas en formato tipo Valores Separados por Comas (CSV) de los ejes de cada uno de los componentes.

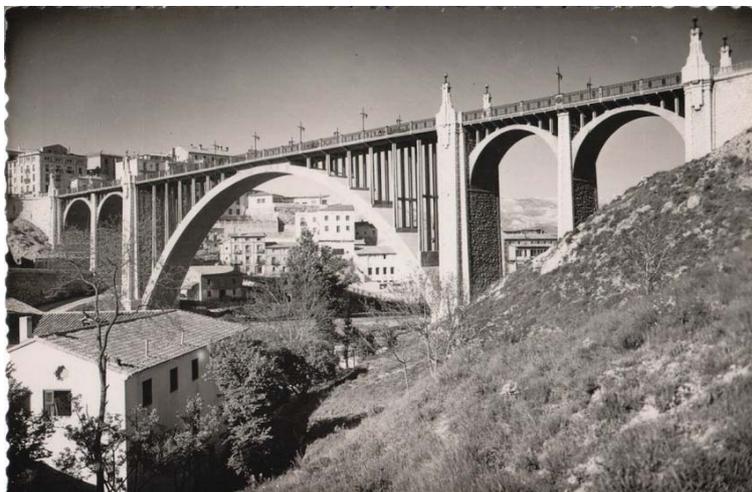


Fig. 6 Viaducto de Fernando Hué, Teruel. Fuente: Casas Nagore (2021)

2.2.2. Desarrollo e implementación del add-on

Para el modelado básico del sistema estructural puente arco presentado y su posterior exportación al esquema de datos IFC, se ha desarrollado una extensión para Blender, en la misma línea de la realizada para el caso práctico del modelo arquitectónico, aunque con un mayor número de funcionalidades, como la obtención de mediciones. Ésta se ha denominado *Bridge Creation Add-on*.

El add-on desarrollado se encuentra compuesto por un total de cinco scripts de Python: *archUtilOperators.py*, *piersUtilOperators.py*, *deckUtilOperators.py*, *ifcClassAssignment.py* y *panel.py*. El primero permite el modelado automático del arco del puente; el segundo posibilita el modelado de las péndolas; el tercero crea el tablero; el cuarto permite la asignación de una clase IFC en BlenderBIM a cada uno de los elementos modelados; y el último de los referidos constituye el menú gráfico del add-on, permitiendo llamar a cada una de las funciones y clases creadas en los scripts anteriores.

El menú gráfico de la extensión presenta cuatro secciones. Las tres primeras se emplean para el modelado de los arcos, pilares o péndolas y tableros, mientras que la última permite la asignación de clases IFC (Fig. 7).

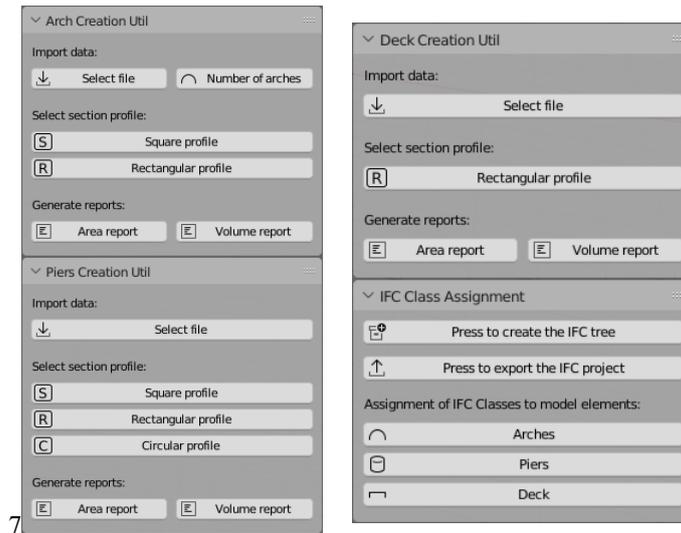


Fig. 7 Secciones o submenús del add-on desarrollado. Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento de los botones del menú gráfico se describe a continuación:

- El botón *Select file* permite escoger el archivo de datos externos que se desea importar en Blender. El formato de los ficheros de datos debe ser de tipo CSV, siendo el carácter punto el separador decimal. Si la información está contenida en más de un fichero, éstos habrán de seleccionarse uno a uno, de forma individual.
- El botón *Number of arches* permite indicar el número de arcos a dibujar y su equidistancia.
- Los botones *Square profile*, *Rectangular profile* y *Circular profile* definen la sección transversal de los arcos, pilares o péndolas y tableros. Al seleccionarlos, aparece un menú emergente que posibilita la introducción de las dimensiones de dichos elementos.
- Los botones *Area report* y *Volume report* generan los informes de superficie de encofrado y volumen de hormigón necesarios para la ejecución de los componentes del sistema estructural puente arco (Fig. 8).
- El botón *Press to create the IFC tree* permite la creación de la estructura IFC dentro del archivo de Blender en el que se esté trabajando, mediante llamada a la función correspondiente de BlenderBIM. Lo mismo sucede con el botón *Press to export the IFC project*. El archivo IFC que se genere tendrá por defecto esquema IFC4 y se guardará en la misma carpeta que el archivo de Blender en uso.

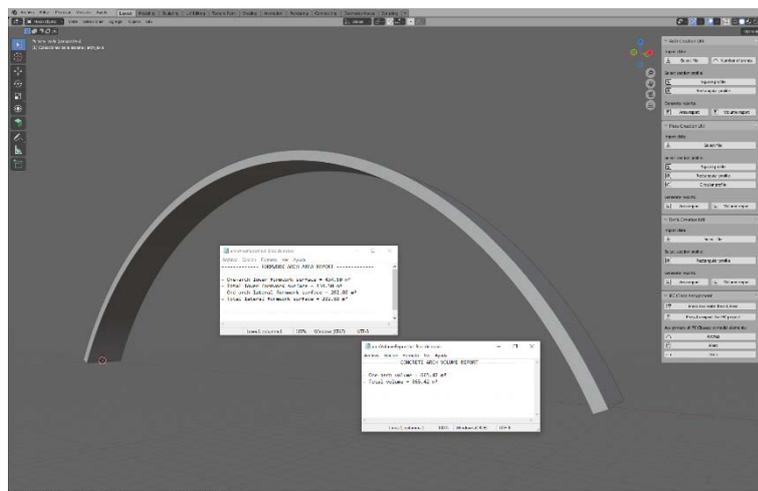


Fig. 8 Informes de superficie de encofrado y volumen de hormigón. Fuente: Elaboración propia

- Los botones *Arches*, *Piers* y *Deck* permiten la asignación automática de las clases IFC a cada uno de los elementos generados. Los arcos se clasifican como *IfcMember*; los pilares y las péndolas, *IfcColumn*; y el tablero, *IfcSlab*. Todos ellos tienen tipo predefinido *USERDEFINED*, y sus tipos personalizados son, respectivamente, *ARCH*, *PIER* y *DECK*.

Las extensiones desarrolladas en este trabajo han permitido automatizar la creación de un árbol IFC dentro del entorno de Blender, tal y como se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9 Árbol IFC correspondiente al modelo arquitectónico (izquierda) y al sistema estructural puente arco (derecha). Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, también ha sido posible automatizar el proceso de asignación de clases IFC a cada uno de los elementos componentes de los modelos, mediante invocación a las funciones correspondientes del add-on BlenderBIM a través de Python. Los modelos generados han podido visualizarse a través de un visor IFC (Fig. 10 y Fig. 11).

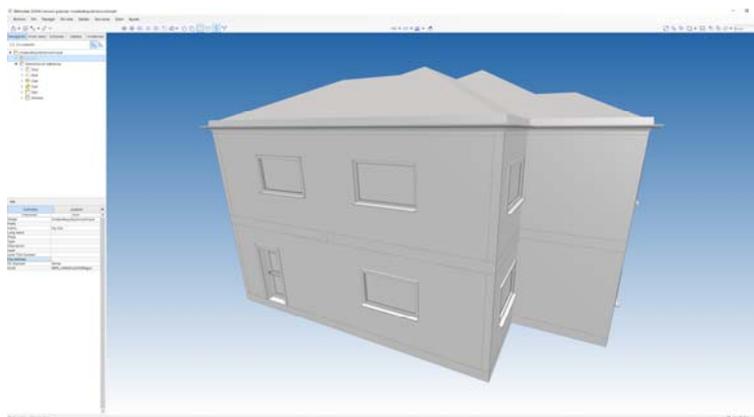


Fig. 10 Visualización del modelo arquitectónico básico creado desde un visor IFC. Fuente: Elaboración propia



Fig. 11 Visualización del sistema estructural puente arco creado desde un visor IFC. Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones y líneas de trabajo futuras

En este trabajo se emplea de forma conjunta el software de diseño 3D de código abierto Blender, y el lenguaje de programación Python para la automatización de procesos que permitan la generación de modelos BIM en el esquema de datos IFC, en el ámbito de la arquitectura y de las infraestructuras de obra civil.

Hasta el momento, la asignación debía realizarse en un proceso manual, elemento a elemento. La propuesta planteada en este trabajo de investigación aporta una simplificación de los procesos de modelado para convertir los modelos de Blender a modelos BIM, de tal manera que éstos puedan ser visualizados a posteriori por los diferentes agentes involucrados en el proceso a través de los flujos de trabajo openBIM.

En el contexto del puente arco, además, ha sido posible la automatización en la obtención de parámetros útiles, tales como la superficie de encofrado y el volumen de hormigón necesarios para la ejecución de los diferentes elementos que conforman la estructura.

Los fundamentos de openBIM estandarizados por buildingSMART promueven el flujo de información entre los actores que participan en el ciclo de vida del proyecto. El estándar IFC, junto con otros estándares como bSDD, MVD, BCF, IDM ó IDS, permiten que el modelo BIM sea interpretado por herramientas de software de diferentes fabricantes. Sin embargo, existen muchos problemas en el uso real de este estándar en la práctica. Abordar soluciones como las desarrolladas en este trabajo, permiten abrir camino hacia posibilidades que hasta el momento se realizan con herramientas bajo licencia comercial. Un elemento clave a destacar en Blender y BlenderBIM es que tratan el estándar IFC de forma nativa, registrando la información sobre el modelo BIM. Muchas de las herramientas comerciales tienen todavía dificultades para trabajar con los modelos de datos IFC.

En los trabajos en curso se incluye la ampliación de entidades IFC comprendidas en los procesos de automatización descritos en este trabajo de investigación. Está previsto la publicación del código fuente de las extensiones una vez se desarrollen testeos con más modelos BIM creados en Blender.

Referencias

- CASAS NAGORE, C. (2021). "El viaducto de Teruel: mucho más que un arco espectacular" en *Historias de Carreteras*, 4 de enero. <<https://historiasdecarreteras.com/el-viaducto-de-teruel-mucho-mas-que-un-arco-espectacular/>> [Consulta: 1 de marzo de 2023]
- DESHPANDE, A., AZHAR, S., y AMIREDDY, S. (2014). "A framework for a BIM-based knowledge management system". En: *Creative Construction Conference 2014 (CC2014)*. Praga. Disponible en <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.535>> [Consulta: 20 de febrero de 2023]
- FOLEY, J. D., VAN DAM, A., FEINER, S. K., y HUGHES, J. F. (1996). *Computer Graphics: Principles and Practice in C* (2nd ed.). Addison-Wesley Pub.
- IFCOPENSHELL CONTRIBUTORS (2022). *BlenderBIM Add-on documentation*. <<https://blenderbim.org/docs/index.html>> [Consulta: 1 de marzo de 2023]
- JUSTO, A., LAMAS, D., SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, A., SOILÁN, M., y RIVEIRO, B. (2023). "Generating IFC-compliant models and structural graphs of truss bridges from dense point clouds" en *Automation in Construction*, 149, May 2023, 104786 <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104786>> [Consulta: 20 de febrero de 2023]
- LEGER, S. (2020). *Blender-Archipack*. <<https://blender-archipack.org/es/>> [Consulta: 1 de marzo de 2023]
- LOGOTHETIS, S., y STYLIANIDIS, E. (2016). "BIM Open Source Software (OSS) for the documentation of cultural heritage" en *Virtual Archaeology Review*, 7, 15, 28–35. <<https://doi.org/10.4995/var.2016.5864>> [Consulta: 20 de febrero de 2023]
- NOARDO, F., OHORI, K. A., KRIJNEN, T., y STOTER, J. (2021). "An Inspection of IFC Models from Practice" en *Applied Sciences*, 11, 5, 1–28. <<https://doi.org/10.3390/app11052232>> [Consulta: 20 de febrero de 2023]

Automatización de procesos para generar modelos IFC. Aplicación en dos casos de estudio. Pérez-García, A.; Martín-Dorta, N.; Aranda, J. Á.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION (2022). *History and License*. <<https://docs.python.org/3/license.html>> [Consulta: 1 de marzo de 2023]

WIKI.OSARCH (2022). *BlenderBIM Add-on*. <https://wiki.osarch.org/index.php?title=BlenderBIM_Add-on> [Consulta: 1 de marzo de 2023]

Financiación

Trabajo cofinanciado por la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información de la Consejería de Economía, Conocimiento y Empleo y por el Fondo Social Europeo (FSE) Programa Operativo Integrado de Canarias 2014-2020, Eje 3 Tema Prioritario 74 (85%).



MÉTODO PARA AUTOMATIZAR EL MAPEO DE LA DEGRADACIÓN EN EL MODELADO PARAMÉTRICO DE INFORMACIÓN DE UN EDIFICIO HISTÓRICO

Sanseverino, Anna^a; Lozano-Galant, Fidel^b; Guida, Caterina Gabriella^a; Limongiello, Marco^a y Lorusso, Angelo^c

^aDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Salerno, Italia - (asanseverino, cguida, mlimongiello)@unisa.it, ^bE.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Castilla-La Mancha, España, - fidel.lozanogalant@uclm.es ^cDepartamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Salerno, Italia - alorusso@unisa.it.

Abstract

This work proposes a methodology to develop dynamic research. It starts from an investigation that integrates data from different sources, performs the historical parametric and informative modelling (HBIM) of an old tobacco factory and ends with the definition of a semi-automatic process for the definition of decay maps in a BIM environment. The parametric modelling of non-standardised historical elements and the lack of parameters that are accepted by most of the scientific community is still one of the main problems of HBIM, so the present research aimed to focus on the enrichment of data for conservation and restoration purposes. It was decided to operate via shared parameters, which summarise the information required by current legislation, subsequently filled in using a visual programming script developed in Dynamo BIM. The aim of the proposed study is to show the potential of this tool for the management of historical heritage, optimising the data collection operation and reducing the risk of information loss during the monitoring and planning process.

Keywords: Scan-to-BIM, HBIM, Dynamo, VPL, Refurbishment, Industrial Archeology

Resumen

Este trabajo propone una metodología para desarrollar una investigación dinámica. Se parte de una investigación que integra datos de diferentes fuentes, se realiza la modelización histórica paramétrica e informativa (HBIM) de una antigua fábrica de tabaco y se termina con la definición de un proceso semiautomático para la definición de mapas de deterioro en un entorno BIM. La modelización paramétrica de elementos históricos no estandarizados y la falta de parámetros aceptados por la mayor parte de la comunidad científica se sigue identificando como uno de los principales problemas de HBIM, por lo que la presente investigación ha querido centrarse en el enriquecimiento de datos con fines de conservación y restauración. Se optó por operar mediante parámetros compartidos, que resumieran la información requerida por la legislación vigente, posteriormente rellenados mediante un script de programación visual desarrollado en Dynamo BIM. El objetivo del estudio propuesto es mostrar el potencial de esta herramienta para la gestión del patrimonio histórico, optimizando la operación de recogida de datos y reduciendo el riesgo de pérdida de información durante el proceso de monitoreo y planificación.

Palabras clave: Scan-to-BIM, HBIM, Dynamo, VPL, Rehabilitación, Arqueología Industrial

Introducción

En los últimos años, el patrimonio edificado, que constituye uno de los principales sectores de apoyo al desarrollo económico y sostenible de los países, ha sido objeto de numerosas intervenciones lo que hace necesario gestionar adecuadamente las operaciones de mantenimiento y conservación. A lo largo de los años, la forma de operar en el ámbito de la restauración ha evolucionado, tanto gracias a la mayor sensibilidad desarrollada por arquitectos e ingenieros como a las nuevas herramientas disponibles (Watson, 2011); con la llegada de las nuevas tecnologías, la digitalización del entorno construido juega un papel esencial, hasta el punto de codificar nuevos flujos de intervención (Castagnetti et al., 2017). En este sentido, la tecnología BIM (Building Information Modeling) es cada vez más importante para el diseño de edificios (Arayici et al., 2017). De hecho, BIM se percibe como uno de los desarrollos más significativos dentro de la industria de la construcción, ya que introduce nuevos procesos, tecnologías y aumenta la interacción en la práctica (Abdirad y Dossick, 2016), por lo que se define como una plataforma para mejorar la comunicación de la información y reducir la duración y los costes del proyecto en esta industria (Murphy et al., 2009).

El BIM permite vincular a un modelo 3D paramétrico tanto datos geométricos como informativos, que van desde las propiedades mecánicas y físicas de los materiales hasta la información sobre los costes, pasando por las distintas fases de la construcción, representando así la cronología de la misma. A pesar de los claros beneficios que BIM podría ofrecer a los proyectos de construcción (Ghaffarianhoseini et al., 2017), hasta la fecha su adopción encuentra resistencia para la realización de proyectos de rehabilitación de edificios existentes (Chong, Lee y Wang, 2017). Las razones sugeridas incluyen la fragmentación (Ilter y Ergen, 2015), el aislamiento y la falta de colaboración e intercambio de información dentro de la industria de la construcción (Park y Kim, 2014).

Una de sus aplicaciones modernas en la documentación y conservación del patrimonio ha generado una nueva forma de modelización de la información de los edificios históricos (Arayici et al., 2017). Murphy (Murphy et al., 2009) definió por primera vez el Historic Building Information Modeling (HBIM) en 2009, expresando claramente las perspectivas de la técnica BIM en el entorno construido. En este sentido, diferentes autores han desarrollado protocolos para la gestión de las intervenciones en edificios patrimoniales (Jordán-Palomar et al., 2018) ya que la HBIM de un edificio histórico puede proporcionar un estudio exhaustivo y una modelización paramétrica de la geometría de la superficie, los atributos, los materiales y la información sobre las relaciones entre los sub-elementos, así como las posibles deformaciones y cambios a lo largo del tiempo (Yang et al., 2020).

El debate público sobre BIM para edificios existentes suele ser confuso y a veces carece de una visión clara de los objetivos finales. La posibilidad de aplicar este enfoque al patrimonio existente es un reto interesante tanto en el campo de la modelización 3D como en la gestión/evaluación del propio edificio (Barba et al., 2020). La principal dificultad encontrada en la modelización HBIM es la creación de objetos paramétricos inteligentes, sobre los cuales mapear la información recogida, capaces de representar las formas y geometrías únicas y singulares de la arquitectura histórica (Tommasi et al., 2016). A la hora de modelar edificios antiguos en un entorno BIM, la principal limitación está relacionada con la falta y/o insuficiencia de bibliotecas de objetos a partir de las cuales modelar los diferentes elementos. En comparación con los edificios nuevos, los edificios existentes requieren la adquisición de informaciones adicionales para una correcta evaluación del estado actual, cruciales para el mantenimiento y la conservación del propio edificio, así como informaciones históricas, análisis de degradación o deformación e informaciones sobre el mantenimiento realizado o a realizar (Letellier y Eppich, 2011).

Uno de los principales retos del modelado del existente ha sido definir el procedimiento de transición de las nubes de puntos a la creación de modelos paramétricos de los edificios analizados. Estos problemas se afrontan hoy en día con diferentes enfoques que van desde el modelado procedimental hasta las réplicas digitales reales que conservan todas las irregularidades geométricas de la superficie, una solución mucho más adecuada, sobre todo cuando la documentación digital se destina a la restauración y reutilización. Las variables que hay que tener en cuenta son: la precisión y la fiabilidad del estudio, la adecuación del modelo a la realidad, la gestión del tiempo y la aplicación de los datos disponibles mediante un análisis espacial,

geométrico, material y estructural preciso. En la literatura, encontramos varios ejemplos, como la implementación de un sistema BIM histórico para la Catedral de Parma, destinado al mantenimiento, conservación y restauración, que intentan dar una respuesta concreta a la falta de herramientas específicas necesarias para la documentación del Patrimonio Cultural, en términos de: archivo y gestión organizada y coordinada de los datos históricos, facilidad de análisis y consulta, gestión del tiempo, modelado 3D de formas irregulares, flexibilidad y facilidad de uso. La metodología generalmente empleada se centra en las fases de levantamiento y modelización, partiendo de un levantamiento integrado con escaneo láser y fotogrametría (Bruno y Roncella, 2018).

Otra cuestión muy actual en la definición de un enfoque totalmente BIM para la restauración se basa en el estudio y cuantificación de los fenómenos de degradación directamente sobre el modelo, así como el análisis de sus fases constructivas (Malinverni et al., 2019). Aunque es posible una representación geométrica detallada de los artefactos arquitectónicos, la rigidez de las herramientas de autoría BIM comerciales, creadas para las nuevas construcciones, no siempre responde eficazmente a las necesidades de la restauración; por ello, se están explorando actualmente varios enfoques. En el entorno de Autodesk Revit, por ejemplo, se han implementado varias alternativas para el mapeo de la degradación, incluyendo el uso de herramientas de "sombreado", "superficie dividida y pintura", así como la creación de un "modelo local", si bien esto implica un aumento significativo del tamaño del archivo, así como la imposibilidad de obtener datos alfanuméricos sobre la patología. Un paso adelante en esta dirección (Chiabrande et al., 2017) ha previsto, en cambio, el uso de "familias adaptativas" que permiten dibujar, en 3 dimensiones, líneas o áreas a las que se pueden añadir otros parámetros informativos útiles para el proyecto; por otro lado, las características geométricas de estos componentes adaptativos deben ser definidas a priori.

El análisis de la literatura permite proponer una reflexión sobre los principales aspectos que contribuyen a definir el marco de las áreas y propósitos para los cuales es conveniente el apoyo de modelos tridimensionales fotorrealistas en las fases de conocimiento, análisis y diagnóstico, con especial referencia al mapeo y seguimiento de las manifestaciones sintomáticas de la degradación. Estos ejemplos muestran una heterogeneidad de soluciones, demostrando que el proceso de documentación y análisis del patrimonio histórico requiere una gran flexibilidad, pero al mismo tiempo la adopción de un sistema riguroso y preciso de adquisición y sistematización de datos, imprescindible para una gestión más ágil del modelo en el tiempo (Jordán-Palomar et al., 2018).

El presente trabajo de investigación se centra en el enriquecimiento de datos con fines de conservación y restauración. La metodología adoptada forma parte de una investigación dinámica, en continua evolución, para la catalogación y referenciación de la información escrita-gráfica, con el objetivo final de obtener una herramienta de catalogación de datos estandarizada que permita, por ejemplo, obtener rápidamente las tablas de las porciones de superficie afectadas por las distintas degradaciones para el posterior cálculo de sus costes de gestión. Para comprobar la aplicabilidad y eficacia de la metodología ilustrada, se utilizó como caso de estudio un ejemplo de arqueología industrial: la antigua fábrica de tabaco Farina en Battipaglia.

1. Caso de estudio

Tras más de cincuenta años de experimentación, los temas de la arqueología industrial siguen siendo un campo de investigación con muchas incógnitas y fuertemente ligado a la gestión estratégica de los territorios. La reurbanización de los emplazamientos en desuso es un aspecto no desdeñable de las políticas urbanas actuales, cuyas características operativas no siempre y en todo momento son coherentes con los valores históricos y documentales de las estructuras existentes (Ribera et al., 2018). La fábrica de tabaco "Fortunato Farina", fundada en 1920, estaba situada en medio de los campos de cultivo, en la localidad de Taverna, a las afueras del centro urbano de Battipaglia, y era una de las mayores fábricas del complejo empresarial primero de la Società Agricola Industriale Salernitana (S.A.I.S.) y luego de la Società Agricola Industriale Meridionale (S.A.I.M.). En la actualidad, la zona es propiedad del municipio de Battipaglia, localidad italiana conocida por ser una de las zonas agrícolas más productivas del Valle del Sele, del que es también el principal centro industrial, así como un nudo ferroviario. Hoy, la fábrica de tabaco se encuentra situada al lado de la

Via Rosa Jemma, en pleno centro de la ciudad y rodeada de edificios residenciales correspondientes a la primera fase de expansión del asentamiento urbano. Situada cerca del centro de la ciudad y a unos cientos de metros de la estación de tren, cuenta con las principales infraestructuras provinciales y está conectada por una carretera de paso, Via Rosa Jemma, con el centro de la ciudad y la carretera nacional SS18. La Fábrica de Tabacos, por tanto, representa un edificio identificativo, tanto por su tamaño como por su ubicación, y por ello requiere un proyecto de reutilización especialmente complejo y difícil.

En la actualidad, la Manifattura Tabacchi es una sucesión de edificios a lo largo de la Via Rosa Jemma, en el centro de Battipaglia, formada por bloques rectangulares alineados y paralelos a la calle. El uso original de los edificios, destinados a albergar la fase de secado de las hojas, justifica la característica separación interna, con alturas de hasta 14 metros. La transformación del tabaco exigía unas condiciones especiales de ventilación, que determinaban el diseño de los edificios en cuanto a volumen, materiales y disposición de las aberturas. Los ocho bloques originales del SAIM tienen una estructura externa de mampostería continua, con revestimiento de ladrillo macizo, una estructura mixta interrumpida por grandes aberturas que crean corrientes de aire variables. En el interior, la doble hilera de pilares que se estrechan hacia arriba crea una división interna en tres tramos. En el intradós del tejado aún se puede ver la típica estructura de madera de la que se colgaban los festones de hojas, que se tiraban y bajaban desde arriba. Los pilares están unidos a la estructura principal por una especie de capitel escalonado de tablas de madera, mientras que el tejado era a dos aguas y estaba protegido por tejas.

Hoy, al interior de la fábrica, se encuentran grandes recintos cuyo interior se ha vaciado completamente de maquinaria, con exteriores de ladrillo bien conservados. No se puede decir lo mismo del edificio de hormigón más reciente. Se trata de un pabellón de hormigón armado, cubierto por bóvedas de ladrillo soportadas por una ligera retícula de nervaduras, construido por la Azienda Tabacchi Italia (ATI), que recuerda el entramado de nervaduras de hormigón de las bóvedas concebido por Nervi, el inventor del ferrocemento, obtenido "incorporando un paquete de mallas metálicas superpuestas al mortero de cemento". En la fecha, el pabellón es inaccesible tras el reciente derrumbe del techo.

2. Metodología

En esta investigación, se propone un modelo HBIM de la antigua fábrica de tabaco utilizando un enfoque sinérgico de fotogrametría aérea y métodos de localización y mapeo simultáneos (*Simultaneous Localization And Mapping* - SLAM). Para las adquisiciones en exteriores, los drones utilizados son el *DJI spark*, elegido por su menor tamaño, que nos permitió adquirir información en la parte colapsada del techo, y el *DJI Mavic 2 Pro*. El sistema láser portátil (*Wearable Mobile Laser System* - WMLS) probado en el entorno interior es el *ZEB Go de GeoSLAM*. Se ha propuesto aquí un procedimiento esquemático de adquisición y gestión de datos, que se plantea como un paso fundamental para comprobar la posibilidad real de utilizar una metodología de modelización inversa al servicio de los proyectos de valorización y recuperación. El método propuesto puede esquematizarse de la siguiente manera (figura 1):

- Adquisición de datos;
- Modelado HBIM;
- Enriquecimiento de datos y mapeo de la degradación.

2.1. Adquisición de datos

Dado que esta aplicación implica la integración de dos tecnologías diferentes para producir un modelo completo, tanto la basada en imágenes como la basada en rangos, el primer paso en la planificación del levantamiento es proporcionar una red de referencia: en este caso se utilizaron 5 puntos de control del terreno (GCP) levantados con un *GeoMax Zenith 25*. Estos puntos, utilizados tanto para la georreferenciación de la nube SLAM como para la orientación externa absoluta de los fotogramas, proporcionan un sistema de referencia común para las dos nubes, útil para una integración de alto nivel de los datos topográficos, manteniendo el procesamiento de las diferentes técnicas por separado hasta la fusión final de los modelos. La calidad de los datos recogidos con el láser SLAM depende en gran medida de cómo se realice la

adquisición. De hecho, la campaña de levantamiento se lleva a cabo caminando lentamente, a una velocidad de unos 0,5 m/s, con el fin de obtener una buena cobertura y datos de alta resolución. Los objetivos artificiales utilizados para materializar los puntos de control fotogramétrico sobre el terreno se escanean con un accesorio especial para almacenar sus coordenadas, que son esenciales durante la fase de integración.



Fig. 1 Flujo de trabajo de la metodología propuesta. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las adquisiciones con drones, se planificaron dos vuelos con el paquete de software *DJI Ground Station*, ambos automáticos y con doble retícula: un primer vuelo para la adquisición de imágenes fotogramétricas nadir y un segundo, con el eje óptico inclinado a 45°, para el levantamiento de paredes verticales y eventuales conos de sombra. La nube de puntos extraída tiene más de 48 millones de puntos, con un error medio del GCP de unos 2,8 cm.

2.2. Modelado HBIM

Habiendo establecido como objetivo del modelo la conservación del patrimonio a través de la funcionalidad y el mantenimiento, el nivel de desarrollo (LOD) a alcanzar se determina como LOD 500 y un nivel de precisión necesario (LOA) LOA 20, según la clasificación USIBD, que permite desviaciones geométricas entre el modelo y la nube de puntos entre 15 y 50 mm. El software utilizado para el modelado BIM es *Autodesk Revit*, que, gracias a la compatibilidad con *Autodesk Recap PRO*, permite la importación directa de la nube de puntos. El modelado 3D basado en la nube importada no es un proceso automático por lo que hay que crear algunos elementos particulares generando nuevas familias paramétricas, lo que lleva mucho tiempo debido al gran número de elementos y a la cantidad de información (Allegra et al., 2020).

Una vez fijado el nivel de detalle requerido, se modelan los distintos elementos para adaptarlos a la realidad gracias a las herramientas de modelado disponibles y a la posibilidad de modificar y gestionar los elementos paramétricos. El programa elegido también desempeña un papel decisivo a la hora de determinar el grado de modelización alcanzable. El modelado de elementos existentes en Revit suele dar lugar a muchos errores, lo que se convierte en una limitación a la hora de modelar edificios existentes. Estas limitaciones son el resultado de las peculiaridades de la estructura existente, caracterizada por unas formas únicas y particulares, en las que cada elemento tiene una inclinación, una forma y un grosor específicos y variables, lo que hace necesario adaptar las herramientas disponibles para obtener un dibujo lo más cercano posible a la configuración real.

2.3. Enriquecimiento de datos y mapeo de la degradación

La fase de enriquecimiento de los *Smart Objects* modelados se ha experimentado eligiendo la fachada principal (Sur) de la fábrica como objeto de estudio. Para obtener el LOD correspondiente al modelo actualizado es obligatorio el mapeo de la degradación para proceder posteriormente a la elaboración de un programa de mantenimiento adecuado. Aunque la HBIM asume un papel importante en el estudio y la cuantificación de los fenómenos de degradación al garantizar una representación geométrica detallada de los artefactos (Barba et al., 2020), todavía faltan parámetros relacionados con el estado de conservación, debido a la falta de un requisito específico y su correspondiente normalización. La experimentación propuesta pretende representar cada fenómeno de degradación partiendo de una cartografía tradicional en 2D obtenida del análisis visual de ortofotos derivadas de un levantamiento aerofotogramétrico. Las diferentes áreas implicadas se identificaron según las indicaciones de la norma UNI 11182, adoptando posteriormente el vocabulario NorMaL 1/88 para la representación del modelo.

Se han seleccionado ocho tipos de degradación identificados en la fachada en cuestión según la terminología NorMal 1/88, a cada uno de los cuales corresponde un patrón de representación identificado por las recomendaciones en cuestión. A continuación, se enumeran las degradaciones identificadas con la nomenclatura italiana y su correspondencia en español:

- *Alterazione Cromatica* - Alteración cromática
- *Colatura* - Filtración
- *Degrado Antropico* - Degradación antrópica
- *Deposito Superficiale* - Depósito superficial
- *Effluerenscenza* - Eflorescencia
- *Fessurazione* - Cracking
- *Mancanza* - Carencia
- *Presenza di Vegetazione* - Presencia de vegetación

2.3.1. Mapeo de la degradación 2D y acciones preparatorias

Para importar correctamente los datos en el entorno BIM, se tomaron medidas preventivas en la realización del mapa de degradación realizado, en esta primera fase, a través del software *Autodesk AutoCAD*. En primer lugar, se asignó a cada zona degradada una capa diferente cuya designación se codificó de la siguiente manera AA0.0. Las dos letras se utilizaron para identificar el tipo de degradación, con el fin de utilizarlas posteriormente para asignar automáticamente el identificador correspondiente al tipo de degradación y su patrón una vez en el entorno BIM. El primer número se utilizó para asignar la gravedad de la degradación, mientras que el último se estableció como un valor incremental para garantizar que cada capa, y por tanto cada zona degradada, fuera única y fácilmente identificable. Por último, para que el script a través el lenguaje de programación visual (VPL), desarrollado a través de la aplicación *Dynamo para Autodesk Revit* (figura 2), funcionara correctamente, era esencial que cada zona degradada estuviera identificada por una curva cerrada y sin auto-intersecciones (bucle). En el caso de las regiones que se superponen, se ha dividido el dibujo en diferentes curvas que no presenten dicha superposición. Una vez resueltos estos puntos, el dibujo CAD se importó al entorno de Revit, se colocó en paralelo al objeto de estudio de la fachada y se explotó.



Fig. 2 Esquema del funcionamiento del script de programación visual. Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Desarrollo del Script de programación visual

Como se ha mencionado, se desarrolló un script VP para reconocer las líneas CAD y transformarlas en objetos BIM; para esta aplicación se eligió operar a través de *Filled Regions*, una categoría de anotación comúnmente adoptada para mapear manualmente las áreas degradadas en una vista seleccionada. El objetivo de la metodología propuesta era, por lo tanto, tener la posibilidad de proyectar automáticamente el mapa de degradación en cualquier vista elegida simplemente importando el dibujo CAD una única vez. El Script de VPL puede dividirse en cuatro procesos principales (figura 3):

- Ordenar las líneas por sus estilos derivados de los nombres de las capas de AutoCAD.
- Convertir las líneas en curvas de Revit, para luego agruparlas de nuevo según su estilo gráfico en bucles cerrados, que constituirán el perímetro de las *Filled Regions*.
- Extraer las características de degradación de los nombres de las capas. En este paso los nombres asignados a cada capa en AutoCAD se convierten en cadenas de texto, que se recortan de acuerdo con el código indicado en los párrafos anteriores (AA0.0), para luego ser utilizados para poblar los parámetros seleccionados.
- Asignar a las Regiones recién generadas el tipo y la gravedad de la degradación, obtenidos en el paso anterior, configurando y rellenando los parámetros comunes: "Nombre de la degradación", "Tipo de degradación" y "Gravedad de la degradación". Por último, las regiones que identifican las degradaciones se proyectan en todas las vistas requeridas siguiendo sus orientaciones internas.

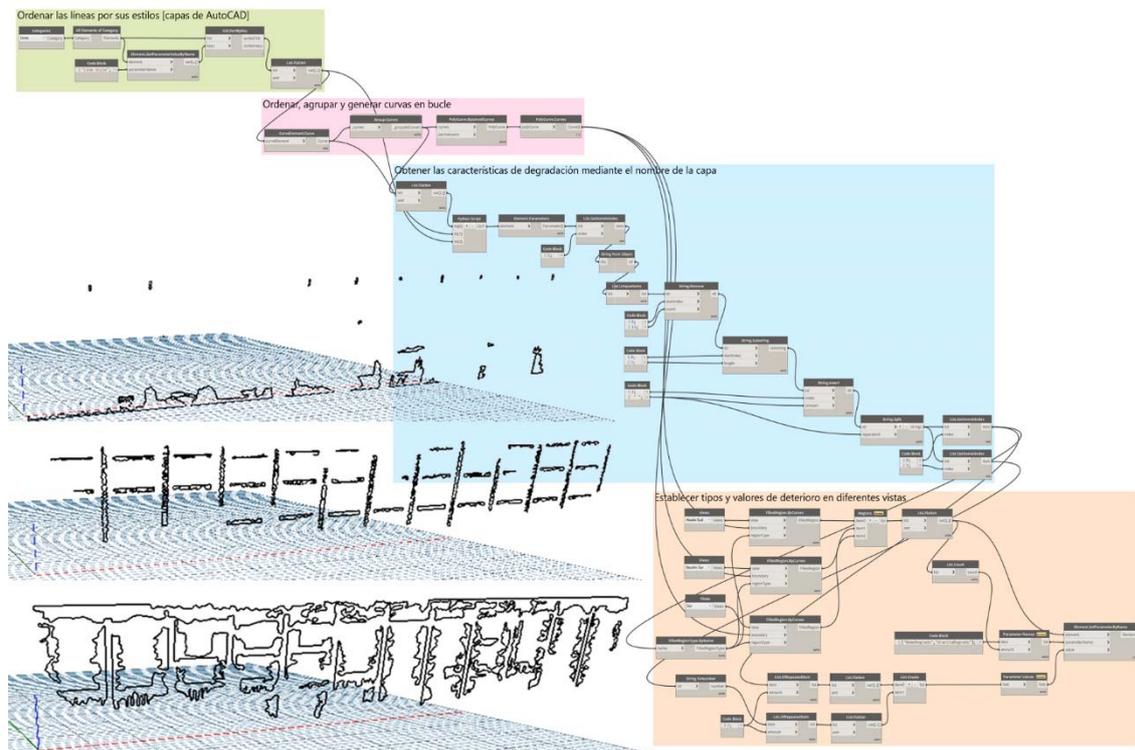


Fig. 3 Descripción de los grupos del VPL script con ejemplos de ejecución en entorno Dynamo Revit. Fuente: elaboración propia.

2.4. Resultados

El objetivo de esta aplicación era la posibilidad de calcular de forma automática la superficie acumulada, entendida como área total de cada Filled Region, indicada por medio del parámetro “Extensión de la degradación” (“Estensione del Degrado”), y el número total de cada tipo de degradación (Tabla 1) como base para planificar un futuro plan de mantenimiento y obtener una cuantificación directa de los costes correspondientes a las intervenciones necesarias según las diferentes degradaciones.

Tabla 1. Leyenda de las degradaciones identificadas para la fachada analizada. Fuente: Elaboración propia.

Patrón	Tipo de degradación	N.	Estensione Degrado	Gravità Degrado
	Alteración cromática	27	228.075 m ²	1
	Carencia	14	0.966 m ²	3
	Cracking	18	6.489 m ²	3
	Degradación antrópica	22	48.534 m ²	1
	Depósito superficial	44	46.739 m ²	1 ... 2
	Eflorescencia	1	1.684 m ²	2
	Filtración	35	12.434 m ²	1
	Presencia de vegetación	11	41.904 m ²	1

Por otra parte, se estableció un filtro visual para identificar rápidamente las zonas más problemáticas asignando una escala de colores del verde al rojo: donde el verde, que representa el 1, identifica un nivel bajo de atención, mientras al 4 corresponde el máximo nivel de atención coloreado en rojo (figura 4). De este modo, se crea una base de datos híbrida gráfico-informativa, que se puede actualizar continuamente para actualizar, según se requiera, seguir describiendo los procesos de perturbación que afectan al edificio de forma exhaustiva.

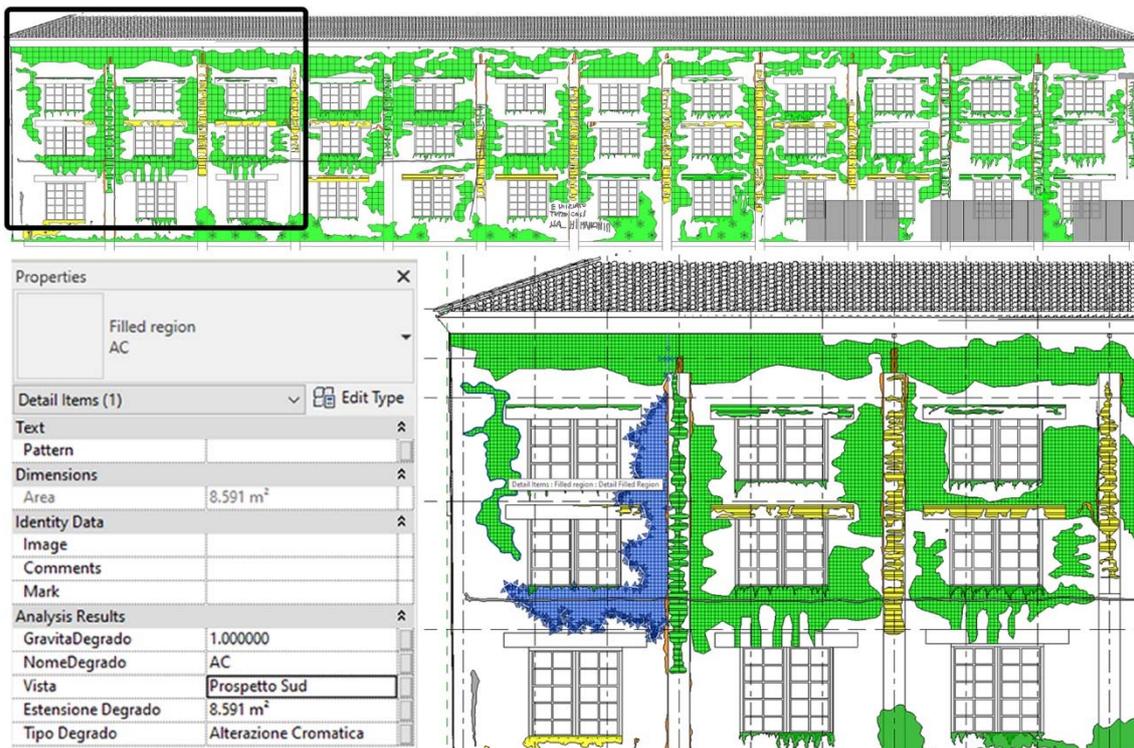


Fig. 4 Resultados del mapeo del deterioro del Alzado Sur en entorno Autodesk Revit. Fuente: elaboración propia

3. Conclusiones

El planteamiento adoptado conduce a una propuesta de metodología fácilmente aplicable en el ámbito de la arquitectura y la restauración: tras la fase común de reconocimiento inicial, la información adquirida se recogió en un repositorio que adquiere la forma de un edificio digital inteligente. El modelo BIM es, de hecho, la herramienta más adecuada para alojar y mantener actualizada la documentación existente para apoyar la gestión del inmueble y servir de base para planificar las medidas de conservación a lo largo de su ciclo de vida. Los datos vinculados no son sólo geométricos, sino que también incluyen documentación gráfica y, sobre todo, no gráfica, para automatizar la proyección del estado de degradación una vez que se han tenido en cuenta algunas sencillas medidas precaucionales. El uso de la programación visual hizo posible una optimización del flujo de trabajo que, en este caso, trata de vincular la metodología de representación tradicional con la informativa, de acuerdo con la normativa vigente.

La principal ventaja del flujo de trabajo propuesto es: la posibilidad de aplicarlo a la vasta documentación existente sobre el estado de degradación, reproduciendo automáticamente un conjunto de datos en cualquier vista elegida, teniendo en cuenta la ventaja adicional de calcular la extensión de las zonas degradadas y la visualización inmediata de su gravedad con la simple configuración de una tabla y un filtro visual. El objetivo, por lo tanto, permite integrar la experiencia de diferentes perfiles profesionales y su metodología establecida, permitiéndoles entrar fácilmente en el mundo del Building Information Modeling, con el fin de superar la actual fragmentación de los archivos existentes, organizando una base de datos compartida y accesible a cualquier interesado. Se garantiza así que no se pierda el considerable trabajo previo de clasificación manual de la degradación, añadiendo la posibilidad de actualizar constantemente el alcance y el estado de la degradación, incluso después de la aplicación de un procedimiento de restauración, gracias a las opciones de gestión de fases que ofrece la herramienta de autoría BIM seleccionada, con el fin de controlar su evolución a lo largo de la vida del bien arquitectónico.

Agradecimientos

Proyecto PID2021-126405OB-C32 financiado por MCIN/AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE Una manera de hacer Europa.

Referencias

- Abdirad, H. y Dossick, C. S. (2016). "BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: a systematic review", *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. Available at: <http://www.itcon.org/2016/17>.
- Allegra, V., Di Paola, F., Lo Brutto, M. y Vinci, C. (2020). "Scan-to-BIM for the management of heritage buildings: the case study of the castle of Maredolce (Palermo, Italy)", en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 1355–1362. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1355-2020.
- Arayici, Y., Counsell, J., Mahdjoubi, L., Nagy, G., Hawas, S., y Dewidar, K. (2017). *Heritage Building Information Modelling*. Routledge. doi: 10.4324/9781315628011.
- Barba, S., Barbato, D., di Filippo, A., Napoletano, R. y Ribera, F. (2020). "BIM-Oriented Modelling and Management of Structured Information for Cultural Heritage", en *AA.VV. Graphical Heritage*, pp. 630–640. doi: 10.1007/978-3-030-47979-4_54.
- Bruno, N. y Roncella, R. (2018). "A restoration oriented HBIM system for cultural heritage documentation: The case study of parma cathedral", en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 171–178. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-171-2018.
- Castagnetti, C., Dubbini, M., Ricci, P., Rivola, R., Giannini, M. y Capra, A. (2017). "Critical issues and key points from the survey to the creation of the historical building information model: The case of santo Stefano Basilica", en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 467–474. doi: 10.5194/isprs-Archives-XLII-5-W1-467-2017.
- Chiabrando, F., Lo Turco, M. y Rinaudo, F. (2017). "Modeling the decay in an HBIM starting from 3d point clouds. A followed approach for cultural heritage knowledge", en *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 605–612. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-605-2017.
- Chong, H.Y., Lee, C.Y. y Wang, X. (2017). "A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability", en *Journal of Cleaner Production*, 142. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.222.
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O. y Raahemifar, K. (2017). "Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges", en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 1046–1053. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.083.
- Jordán-Palomar, I., Tzortzopoulos, P., G-Valldecabres, J., Pellicer Armifiana, E. (2018). "Protocol to manage heritage-building Information Modeling (HBIM)", en *Sustainability*. MDPI, 10(4), pp. 1-19. doi: 10.3390/su10040908.
- Ilter, D. y Ergen, E. (2015). "BIM for building refurbishment and maintenance: current status and research directions", en *Structural Survey*. Emerald Group Publishing Ltd., pp. 228–256. doi: 10.1108/SS-02-2015-0008.
- Letellier, R. y Eppich, R. (2011). *Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Malinverni, E.S., Mariano, F., Di Stefano, F., Petetta, L. y Onori, F. (2019). "Modelling in HBIM to document materials decay by a thematic mapping to manage the cultural heritage: The case of 'chiesa della pietà' in fermo", en *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Copernicus GmbH, pp. 777–784. doi: 10.5194/isprs-Archives-XLII-2-W11-777-2019.
- Murphy, M., MCGovern, E. y Pavia, S. (2009). "Historic building information modelling (HBIM)", en *Structural Survey*, 27(4), pp. 311–327. doi: 10.1108/02630800910985108.
- Park, H. y Kim, Y.K. (2014). "The role of social network websites in the consumer–brand relationship", en *Journal of Retailing and Consumer Services*, 21(4). doi: 10.1016/j.jretconser.2014.03.011.
- Ribera, F., Del Regno, R. y De Guglielmo, F. (2018). "Regeneration addresses for the Cafasso and Picciola working-class villages in the Sele plain, Campania, Italy," en *Conference: ReUSO 2018*.
- Tommasi, C., Achille, C. y Fassi, F. (2016). "From point cloud to BIM: a modelling challenge in the cultural heritage field", en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, pp. 429–436. doi: 10.5194/isprs-archives-xli-b5-429-2016.

Método para automatizar el mapeo de la degradación en el modelado paramétrico de información de un edificio histórico.
Sanseverino, A.; Lozano-Galant, F.; Guida, C.G.; Limongiello, M.; Lorusso, A.

Watson, A. (2011). "Digital buildings - Challenges and opportunities", en *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), pp. 573–581. doi: 10.1016/j.aei.2011.07.003.

Yang, X., Grussenmeyer, P., Koehl, M., Macher, H., Murtiyoso, A., Landes, T., (2020) "Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques", en *Journal of Cultural Heritage*. Elsevier Masson s.r.l., pp. 350–360. doi: 10.1016/j.culher.2020.05.008.



HACIA UNA INTEGRACIÓN ENTRE BIM Y ROBOTIC PROCESS AUTOMATION: UNA PRUEBA DE CONCEPTO

Atencio-Castillo, Edison^{a,b}, Ignacio Alfaro^c, Felipe Muñoz-La Rivera^d Lozano-Galant, Fidel^e y Lozano-Galant, José^f

^aEstudiante de doctorado, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) edison.atencio@alu.uclm.es, ^bProfesor, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) edison.atencio@pucv.cl, ^cIngeniero civil ignacio.alfaro.v@mail.pucv.cl, ^dProfesor, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) felipe.munoz@pucv.cl ^eEstudiante de doctorado, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). ^fDoctor Ingeniero de Caminos, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM).

Abstract

BIM has been highlighted as a digital transformation trend in the architecture, engineering and construction industry (AEC). On the one hand, this approach has contributed to the development of digital twin concept possible through real-time data flows based on sensors in an internet of things (IoT) environment. On the other hand, Robotic Process Automation (RPA) is an emerging technology that interacts with the users' interface of the software, emulating human activities previously programmed by visual programming. RPA has gained wide adherence in different industries automating processes characterized by repetitive and high-volume tasks. This research presents a proof of concept of RPA and BIM integration by developing a data flow based on web data extraction and BIM parametric programming. The results show that RPA and BIM can work together and can operate as a complement to IoT. Literature shows a lack of application of RPA in civil engineering. This research is expected to encourage engineers and researchers to explore RPA.

Keywords: *Robotic Process Automation (BIM), building information modelling (BIM), Parametric Visual Programming, Dynamo.*

Resumen

BIM se ha destacado como una tendencia de transformación digital en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AIC). Por un lado, este enfoque ha contribuido al desarrollo del concepto de gemelo digital a través de flujos de datos en tiempo real basados en sensores en un entorno de internet de las cosas (IoT). Por otro lado, Robotic Process Automation (RPA) es una tecnología emergente que interactúa con la interfaz de usuario del software, emulando actividades humanas previamente programadas mediante programación visual. RPA ha ganado amplia adhesión en diferentes industrias automatizando procesos caracterizados por tareas repetitivas y de gran volumen. Esta investigación presenta una prueba de concepto de integración de RPA y BIM mediante el desarrollo de un flujo de datos basado en la extracción de datos web y la programación paramétrica BIM. Los resultados muestran que RPA y BIM pueden trabajar juntos y funcionar de forma complementaria a IoT. La literatura muestra una falta de aplicación de RPA en ingeniería civil. Se espera que esta investigación anime a ingenieros e investigadores a explorar RPA.

Palabras clave: *Robotic Process Automation (BIM), Building Information Modelling (BIM), programación visual paramétrica, Dynamo.*

Introducción

En plena cuarta revolución industrial, una serie de tecnologías están cambiando la forma de hacer las cosas en diferentes industrias, ayudando a elevar los niveles de productividad en diferentes industrias. En la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) se ha instalado el concepto de Construcción 4.0. Esta es una visión de la industria que se centra en el uso de tecnologías avanzadas y procesos innovadores para mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la seguridad en la construcción de edificios e infraestructuras (Forcael et al., 2020). En este contexto aparece Building Information Modelling (BIM) que se puede entender como modelo 3D que contiene información detallada sobre los componentes de un edificio, su diseño, construcción y mantenimiento. Se utiliza para mejorar la colaboración y la comunicación entre los diferentes actores en la construcción, así como para optimizar el rendimiento del edificio durante todo su ciclo de vida (Atencio et al., 2022). Estos modelos pueden ser utilizados para desarrollar Gemelos Digitales “digital twin DT”) que, en contexto de la AIC, pueden representar diferentes tipos de infraestructuras mostrando información en tiempo real basada en datos obtenidos en vivo desde sensores y sistemas conectados. Estos datos, a su vez pueden estructurarse en torno a un esquema IFC¹. Los DT se pueden utilizar para simular el rendimiento de un edificio en tiempo real, lo que permite tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la gestión de sus activos (Munir et al., 2020). A su vez, los gemelos digitales están estrechamente relacionados con el internet de las cosas “Internet of Things (IoT)”. El IoT se refiere a la conexión de dispositivos físicos a internet para que puedan intercambiar información entre sí y con otros sistemas (Munir et al., 2020). Estos dispositivos pueden incluir sensores que recopilan diferentes tipos de datos, como por ejemplo aceleraciones y desplazamientos, en el caso del monitoreo estructural (Munir et al., 2020).

Los datos que podrían integrarse en un modelo BIM de un edificio posiblemente no están disponibles directamente desde un sistema de captura de datos desde un sensor (humedad, CO₂, temperatura, etc.) con su respectiva infraestructura tecnológica de transmisión de datos.

Los datos que podrían integrarse a un modelo BIM pueden obtenerse de un sistema de sensores (humedad, CO₂, temperatura, por ejemplo.) y la infraestructura de comunicaciones que este conlleva. Sin embargo, si no se cuenta con estos recursos, los datos podrían obtenerse de fuentes secundarias como sitios web donde el acceso a ellos es posible navegándolos. Ejemplo de estos datos son temperatura y comportamiento del mar en zonas costeras como altura de ola y nivel de marea. Estos dos últimos datos son obtenidos, por ejemplo, a partir de acelerómetros y giroscopios instalados en boyas (Salcedo-Bosch et al., 2021). Por lo tanto, surge el desafío de cómo obtener estos datos minimizando el esfuerzo humano requerido de navegar una y otra vez dichos sitios para luego actualizar un DT. Para este desafío, Robotic Process Automation (RPA) surge como una alternativa de solución, ya que esta tecnología permite automatizar la navegación de sitios web y vaciar los datos en modelos BIM a través de una secuencia de pasos a través de la interfaz del usuario emulando un entorno IoT.

RPA es una tecnología emergente conocida también como “bots” (Siderska, 2020) y que permite la ejecución de tareas repetitivas de la misma forma que lo haría un humano sobre la interfaz de usuario de un software. Dentro de las tareas que puede realizar se encuentran por ejemplo correos electrónicos, abrir archivos adjuntos, iniciar sesión en alguna aplicación, mover archivos o carpetas, completar formularios, escanear datos de una página web, extraer datos de archivos PDF o imágenes, entre otras (Axmann et Harmoko, 2021). El uso de RPA para automatizar procesos en la industria AIC está en sus etapas iniciales y no existen muchos trabajos académicos que muestren cómo esta tecnología podría beneficiarla (Atencio et al., 2022).

El objetivo de este trabajo es desarrollar una prueba de concepto, a través de la construcción de un prototipo de DT basado en un modelo BIM y alimentado con datos disponibles desde sitios web e integrándolos automáticamente en el modelo a través de un proceso automatizado con RPA, simulando un entorno IoT. Este gemelo a su vez opera como un sistema de alertas – ante amenazas de incendio o

¹ https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/drafter/2528/180213_IFC_Handbuch.pdf

marejadas - basado en reglas de procesamiento de los datos obtenidos. Este prototipo considera como caso de estudio un gemelo digital que representa una edificación en el sector costero de la ciudad de Viña del Mar, Chile.

1. Estado del Arte

1.1. Robotic Process Automation (RPA)

RPA es una tecnología que permite automatizar tareas y subprocesos ya digitalizados pero manuales, así como procesos empresariales completos, replicando las acciones que haría un usuario humano a través de una interfaz de usuario de un software (Herm et al., 2022). Uno de los principales factores de éxito para implementar la tecnología RPA es seleccionar los procesos más adecuados para la automatización (Wanner, Hofmann et Fischer, 2019) y que deben reunir las siguientes características: (1) el proceso debe ser muy frecuente, (2) debe tener un bajo nivel de excepciones, (3) debe implicar un ámbito cognitivo cerrado y, por último, (4) susceptible de errores humanos. Para llevar a cabo estos proyectos de RPA es necesario que mantengan un flujo de trabajo las cuales deben ser supervisadas para garantizar una correcta ejecución.

Tres proveedores principales de software RPA han sido identificados actualmente en el mercado: UiPath, Automation Anywhere y BluePrism (Axmann et Harmoko, 2021). Estas soluciones se basan en el uso de sub-tecnologías RPA, las cuales interactúan entre las aplicaciones de un computador. Estas sub-tecnologías son: automatización del escritorio, automatización web de interfaces, Screen Scraping o raspado de pantalla, automatización por imágenes, automatización de sistemas centrales, automatización de SAP, automatización de Excel y grabadora de macros.

RPA ha ganado gran popularidad especialmente en sectores referentes a las finanzas, contabilidad, bancos, seguros, BPO /SSC (Business Process Outsourcing/Shared Service Center) y telecomunicaciones (Harrast, 2020). Sin embargo, los trabajos académicos acerca del uso de RPA en la ingeniería civil son escasos, abriéndose a la vez un campo fértil para mostrar las potencialidades de esta tecnología en la industria de la AIC. En este contexto, se identifica el trabajo de (Shah et al., 2021) desarrollando un gemelo digital para un sistema portátil de temperatura controlada enteramente con programas de software libre y de código abierto. Un segundo trabajo corresponde a (Yamamoto et al., 2020) el cual desarrolla un sistema de operaciones de ahorro de energía que incluye la operación remota de equipos de monitorización centralizados e instalados en un edificio. Ambos trabajos utilizan RPA para la automatización de actividades repetitivas que, de usar un recurso humano, demandaría una importante cantidad de horas hombre.

El reciente proyecto BIM4Ren financiado por el fondo europeo Horizon2020² ha implementado el concepto de "BIMbot3" como un sistema inteligente para la realización autónoma de acciones basadas en datos BIM, como cálculos, simulaciones o análisis. Estos "bot" aunque no están formalmente definidos o construidos bajo el concepto de RPA, persiguen el mismo objetivo: automatizar tareas repetitivas que un usuario debiese realizar manualmente.

1.2. Gemelos digitales y BIM

Un DT es una representación virtual en tiempo real de un objeto físico, proceso o sistema (Boggino et al., 2021) y las aplicaciones de DT en la AIC está en pleno auge. (Jones et al., 2020). Algunos ejemplos de DT en la AIC están representados en los siguientes trabajos: (Ye et al., 2019), propuso un marco de gemelo digital de dos puentes ferroviarios con el fin de monitorear su salud estructural. Este trabajo se estructuró en tres componentes, (i) la gestión de datos en tiempo real con BIM, (ii) el elemento físico representado, (iii)

² https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020_en

³ <https://bim4ren.eu/bim-bots-added-value-in-energy-renovation-projects-the-4th-bim4ren-webinar/>

enfoque basado en datos (Ye et al., 2019). Por otro lado, (Dang et al., 2019) utiliza un gemelo digital para el sistema de mantenimiento de puentes y evaluación sistemática a partir de la interoperabilidad del escaneo 3D y el modelado paramétrico basado en la alineación. Este DT se actualiza en cada resultado de inspección sobre las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad, historial de carga y datos de monitorización, lo que entrega un análisis de grandes volúmenes de datos junto con una predicción del futuro rendimiento de las estructuras (Shim et al, 2019). (Dang et al., 2018) propusieron un prototipo de DT con el fin de realizar una gestión de mantenimiento con sensores de monitorización los cuales irán actualizando el DT. (Youn, et al., 2021) desarrollaron un modelado de malla utilizando una nube de puntos de un edificio tradicional coreano de madera y generaron un gemelo digital 3D en Revit que les permitió comprender la deformación y los daños en las juntas de la estructura, además de reflejar las formas y características únicas de la arquitectura tradicionales de madera.

Se puede ver que en la industria AEC está experimentando un cambio significativo en el uso de modelos, con una transición del CAD en 2D al 3D e integrando datos en dichos modelos. Esto ha permitido reflejar digitalmente las características y condiciones reales de las estructuras desarrolladas, con el fin de obtener una mejora en términos de gestión, predicción y resolución de problemas (Meža et al., 2021).

2. Método de Desarrollo

A continuación, se presenta el método de desarrollo que conduce la presente investigación, la cual se articula en cuatro pasos: (i) definición de los procesos a automatizar, (ii) selección de las aplicaciones, (iii) definición de los parámetros a modelar (iv) proceso propuesto para automatizar. Estos cuatro pasos tienen como objetivo la construcción de un prototipo de gemelo digital a través de: un proceso de captura de datos desde sitios web, importación de los datos a un modelo BIM y generación de alertas automático y soportado por RPA.

2.1 Definición de los procesos a automatizar

Para desarrollar un prototipo de gemelo digital que permita la gestión de alertas de incendio o riesgo costero, se consideran las siguientes tres actividades; (a) búsqueda, extracción y almacenamiento de datos, (b) importación y ordenamiento de datos en Excel y (c) emisión de alertas.

- **(a) Búsqueda, extracción y almacenamiento de datos:** RPA captura datos desde sitios web y almacenarlos en una planilla. Luego, esta planilla debe quedar disponible en un espacio cloud de manera de ser accesible de forma remota y en cualquier instante.
- **(b) Importación de información a modelo digital:** RPA importa los parámetros almacenados en planillas y los exporta en un software BIM. Luego, el modelo digital es actualizado.
- **(c) Emisión de alertas:** Esta parte corresponde al último proceso del flujo de trabajo, donde el “bot” realizará una lectura de la información ordenada desde las planillas y, en base a criterios correspondiente a la peligrosidad de la magnitud de eventos meteorológicos y oceánicos, se dispondrá a emitir alertas por medio de correo electrónico hacia el usuario. Posteriormente, luego de terminar esta acción, el “bot” comenzará una nueva iteración desde el proceso inicial periódicamente.

2.2 Selección de Aplicaciones

Para la automatización con RPA deben considerar las aplicaciones (de software) sobre los que se ejecutarán las tareas automatizadas. UiPath Studio ha sido seleccionada como aplicación de RPA, considerando el acceso a su licencia de prueba con todas sus funcionalidades disponibles. Así también, esta marca es una de las mejores evaluadas en el mercado y con una amplia cantidad de material de aprendizaje y casos de estudio en internet. Excel es seleccionado como planilla de trabajo para almacenar los parámetros a capturar desde sitios web. Excel es una herramienta de uso masivo y está integrado de

forma nativa con UiPath, con funcionalidades pre automatizadas que facilitan la comunicación entre dichas aplicaciones. La tercera aplicación considerada BIM Revit 2019, para albergar el gemelo digital que se pretende desarrollar. Las otras herramientas que se utilizaron dentro de los procesos fueron Dynamo, Gmail y Google Drive. La primera es una aplicación integrada dentro de Revit 2019 y se requirió para la importación de datos desde Excel con el fin de poblar el gemelo digital e ir actualizándolo en cada iteración. La segunda fue requerida para enviar y recibir alerta en forma de e-mail y finalmente, Google Drive fue utilizada para almacenar los archivos Excel que almacenan los datos obtenidos.

2.3 Definición de los parámetros a modelar

Los datos (que se transformarán en los parámetros que alimentarán el modelo digital) son obtenidos sitios web y son procesados para generar un sistema de alertas de (i) incendios y (ii) marejadas que puedan afectar una estructura emplazada en la costa. La Tabla 1 muestra las fuentes de información utilizadas.

Tabla 1. Parámetros seleccionados y páginas web donde se adquieren.

Parámetro	Página web	Periodo del pronóstico diario
Temperatura, humedad, velocidad del viento, dirección del viento, precipitación	Tiempo3 https://www.tiempo3.com/south-america/chile	Pronóstico registrado cada 1 hora en grados celsius, %, velocidad en km/h, dirección cardinal y milímetros, respectivamente.
Marea	Temperaturadelmar https://www.temperaturadelmar.es/america-sur/chile/	Pronóstico registrado cada cambio de marea (4 por día) en términos de altura en metros.
Oleaje	Windfinder https://www.windfinder.com/#5/31.7282/4.5264	Pronóstico registrado cada 2 horas, en términos de altura en metros.

El sistema de alertas a integrar en el DT se basa en diferentes criterios establecidos por sistemas de emergencia chilenos. Por lo tanto, los datos obtenidos de las fuentes descritas en la Tabla 1 serán procesadas según diferentes criterios de generación de alertas como se muestra a continuación:

2.3.1 Alerta de riesgo de incendio.

La región donde se proyecta el edificio corresponde a una ubicación que ha sido fuertemente afectada por la escasez hídrica. Por lo tanto, existen en el sector vastas zonas con vegetación seca susceptible de ser consumidos por las llamas. Por lo tanto, con esta alerta se procura tomar prevenciones ante el riesgo de incendios que afecten el sector.

Se toma como referencia el criterio definido por la Corporación Nacional Forestal de Chile, donde el riesgo de ignición depende esencialmente de la temperatura y humedad relativa del ambiente del lugar donde se encuentra (Forestales, 2005). Los criterios considerados se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Rango de valores para aletas de riesgo de incendios.

Alerta	Temperatura [°C]	Descripción [%]	Detalle de riesgo
Normal	< 30	> 31	Baja probabilidad de ignición
Advertencia	-	≥ 15 y ≤ 30	Moderada probabilidad de ignición
Peligro	> 30	< 15	Alta probabilidad de incendios

2.3.2 Alerta de riesgo por fuerza del viento.

Esta alerta está basada en la adaptación de valores que indica la escala de Beaufort de fuerza de viento que entrega el Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile⁴, la cual ha sido medida de forma empírica y

⁴ https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20170314/20170314120825/tabla_de_beaufort.pdf

categoriza la fuerza del viento respecto a la velocidad del viento que muestra la zona. En la Tabla 3 se muestra el detalle de y rangos de valores adoptados para los tres tipos de alertas utilizados en el trabajo.

Tabla 3. Rango de valores para alertas de fuerza de vientos.

Alerta	Velocidad de viento [Km/h]	Detalle de riesgo
Normal	≤ 38	Brisas moderadas o de menor envergadura
Advertencia	> 38 y ≤ 88	Ventarrón o brisas fuertes
Peligro	> 88	Riesgo de Tormenta o huracán

2.3.3 Alerta de riesgo por marejadas normales y anormales.

Los criterios que se utilizan en Chile para realizar la acción de emisión de alertas por marejadas normales y anormales se presentan en las tablas 4 y 5 respectivamente. Es preciso mencionar que el término “anormal” se adopta por el Servicio Meteorológico de 2012 para clasificar a las marejadas de fuerza excepcional.

Tabla 4. Rango de valores para alertas por marejadas normales. Fuente (Álvarez et Martínez, 2016).

Alerta	Dirección de olas ¹	Altura de ola [m]	Periodo de olas [m]	Detalle de riesgo
Normal	No considerado	< 1,8	≥ 18	Sin emisión de avisos por marejadas
Advertencia	NW	≥ 1,8 y < 3	< 18	Marejadas en forma de abanico, buscando perpendicularidad de la costa
Peligro	SW o W	≥ 3	No considerado	Marejadas donde las olas ingresan directamente al interior de bahías

Tabla 5. Rango de valores para alertas por marejadas anormales Fuente (Álvarez et Martínez, 2016).

Alerta	Dirección de olas ¹	Altura de ola [m]	Periodo de olas [m]	Detalle de riesgo
Normal	No considerado	< 2	≥ 18	Sin emisión de avisos por marejadas
Advertencia	NW	≥ 2 y < 4	> 14 y < 18	Marejadas anormales en forma de abanico, buscando perpendicularidad de la costa. Potenciales daños a infraestructuras costeras
Peligro	SW o W	≥ 4	No considerado	Marejadas anormales que ingresan directamente al interior de bahías generando potenciales daños a infraestructuras costeras y sobrepasan la línea de costa. generan inundaciones

2.4 Proceso propuesto para automatizar

RPA (y la marca UiPath) es propuesta como la tecnología para automatizar los pasos que debe realizar una persona para obtener datos desde páginas web y actualizar un modelo BIM en Revit 2019⁵, emulando un entorno IoT y de gemelo digital. En la Figura 1 se describe el proceso propuesto que se basa en siete pasos. (i) el primer paso es ejecutar el “bot” y acceder a las páginas web de donde se extraerán los datos. (ii) La siguiente acción corresponde a la importación de los datos al archivo Excel para su ordenamiento y creación de una copia para (iii) dejar un historial de información diaria en una carpeta de Google drive. (iv) Luego, el “bot” abrirá el software Revit donde se encuentra la estructura digitalizada y ejecutará Dynamo con el fin de importar la información del archivo Excel e incorporarla al modelo, así generar un gemelo digital. (v)

⁵ Se utiliza la versión de Revit 2019 ya que es la versión de licencia académica disponible en la universidad donde se desarrolló el presente estudio.

Si en base a los criterios parametrizados existe un riesgo, se envía una alerta por email. Caso contrario, (vi) el “bot” cerrará las aplicaciones.

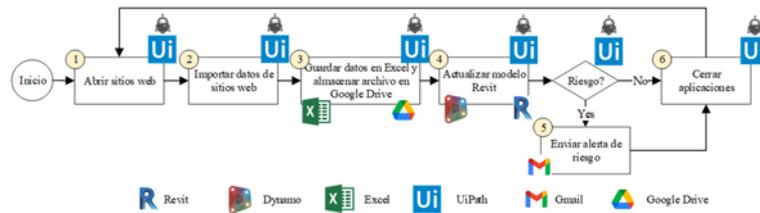


Fig. 1 Propuesta de Diagrama de flujo que seguirá el “bot”

3. Implementación

La implementación del prototipo de DT se basa en las características de una edificación habitacional localizada en la costa de Viña del Mar, Chile, en una zona expuesta a marejadas durante otoño e invierno. Además, en la misma zona, en verano, las altas temperaturas y sequedad elevan el riesgo de incendios en zonas aledañas. El flujo propuesto en Figura 1 es implementado en la aplicación RPA UiPath como se muestra en la Figura 2, donde se ha indicado la correspondencia entre las actividades del flujo en UiPath como se muestra en la Figura 2, donde se ha indicado la correspondencia entre las actividades del flujo en UiPath con las actividades diseñadas y presentadas en la Figura 1, en círculos.

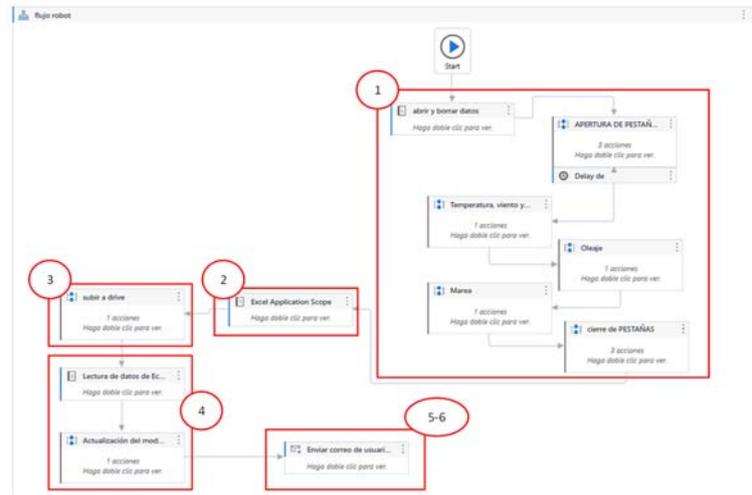


Fig. 2 Flujo de proceso en Uipath

En la Figura 2, sección (1), se muestran las acciones que realiza el “bot” para la apertura del archivo Excel y la eliminación de datos antiguos, preparándolo para almacenar los datos que recopilarán desde los sitios web, de manera repetitiva cada vez que se ejecute el proceso. En la misma sección (1) se continúa con la apertura de páginas web donde obtendrán los datos, los cuales se obtienen de los sitios Tiempo3, Temperaturadelmara y Windfinder como se muestra en la Figura 3 (y se ha descrito en la Tabla1). El “bot”, navega cada uno de los sitios y extrae las tablas donde se encuentren los datos de interés, guardándolos en la memoria como un arreglo.

Fecha local	miércoles, jul 13												jueves, jul 14											
Hora local	2h	5h	8h	11h	14h	17h	20h	23h	2h	5h	8h	11h	14h	17h	20h	23h								
Dirección del viento	[Iconos de viento]												[Iconos de viento]											
Velocidad del viento (km/h)	[Gráfico de barras]												[Gráfico de barras]											
Palapas (mm (in))	[Gráfico de barras]												[Gráfico de barras]											
Humedad	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Tipo de precipitación	[Gráfico de barras]												[Gráfico de barras]											
Precipitación (mm (in))	[Gráfico de barras]												[Gráfico de barras]											
Temperatura (°C)	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Presión atm (hPa)	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Dirección de las olas	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Altura de las olas (m)	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Intensidad de las olas (s)	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Tipo de marea	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Hora (h)	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											
Altura de las mareas (m)	[Gráfico de líneas]												[Gráfico de líneas]											

(a) (b)

marea	hora	altura de la marea
bajamar	03:08	0.28m
pleamar	09:48	1.77m
bajamar	16:37	0.14m
pleamar	22:25	1.12m

(c)

Fig. 3 (a) Extracción de tabla de datos de oleaje. (b) Extracción de tablade datos de humedad, temperatura, velocidad de viento y dirección de viento desde la página Tiempo3 (c) Extracción de tabla de datos de marea desde la página Temperaturadelmar.

La sección (b) de la Figura 3 está compuesta por las actividades que permiten la importación de la información recopilada hacia el Excel previamente vaciado. En la Figura 4 se muestra el archivo Excel con los datos distribuidos en todas las columnas.

TIEMPO GENERAL						OLAJE			MAREA		
HORA	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Velocidad de Viento (Km/h)	Dirección del viento	hora	Altura de ola (m)	Periodo (s)	Marea	hora	Altura marea (m)
0	9	86	4	13	NE	2	1,7	13	bajamar	1:23:00	0,38
1	9	85	3	11	ENE	5	0,2	13	pleamar	6:07:00	1,56
2	10	83	16	13	ENE	8	2,5	12	bajamar	14:55:00	0,33
3	10	82	0	12	ENE	11	3,1	7	pleamar	20:36:00	1,05
4	10	81	0	12	E	14	4,4	8			
5	9	81	0	10	E	17	4,2	8			
6	9	79	0	10	ENE	20	3,4	8			
7	9	79	0	11	E	23	3,2	10			
8	9	8	0	10	ENE						
9	10	79	0	10	ENE						
10	10	77	0	10	ENE						
11	10	76	1	8	ENE						
12	10	79	1	9	ENE						
13	10	79	1	13	ENE						
14	10	8	4	17	NE						
15	9	85	3	13	NE						
16	9	9	5	10	NNE						
17	8	92	27	11	ENE						
18	8	92	8	12	ENE						
19	8	91	7	13	E						
20	8	89	36	13	E						
21	8	88	1	11	E						
22	8	86	0	10	E						
23	9	85	1	10	E						

Fig. 4 Datos extraídos almacenados en Excel

En dicho archivo Excel se encuentran programadas una serie de fórmulas que contienen los criterios para calcular los niveles de alerta, según los datos recientemente importados (riesgo de incendio, marea y fuerza de viento), como se muestra en la Figura 5.

Hora de actualización	22
Temperatura (°C)	8
Humedad (%)	86
Precipitación (mm)	0
Velocidad de Viento (Km/h)	10
Dirección del viento	E
Altura de ola (m)	3,4
Periodo (s)	8

Marea Normal	NORMAL: Sin emisión de avisos por marejadas
Marea Anormal	NORMAL: Sin emisión de avisos por marejadas anormales
Riesgo de incendio	NORMAL: baja probabilidad de ignición y condición optima para quema controlada
Fuerza de viento	NORMAL: Brisas moderadas o de menor envergadura

Fig. 5 Datos requeridos según la hora de actualización y la alerta de riesgo asociada

En la sección (3) de la Figura 2 el “bot” carga el archivo Excel actualizado en una carpeta compartida de Google Drive, en la cual se irán generando copias de cada iteración (Ver Figura 6). Estas son guardadas en una carpeta de nombre “Historial de datos”, dejando en la última actualización en la carpeta general para ser ingresada en el modelo BIM.

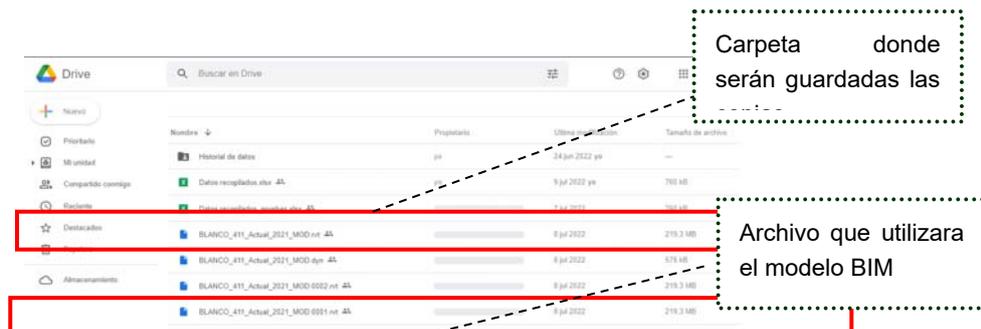


Fig. 7 Archivo Excel importado a carpeta Google Drive

La sección (4) de la Figura 2, corresponde a la automatización con RPA donde la información que ha sido obtenida anteriormente será importada hacia un modelo en Revit a través de Dynamo, el cual se muestra en la Figura 8. Para ejecutar esta actividad, el “bot” abrirá el software Revit desde el escritorio y realizará la secuencia de pasos necesarios dentro de la aplicación para actualizar el modelo.

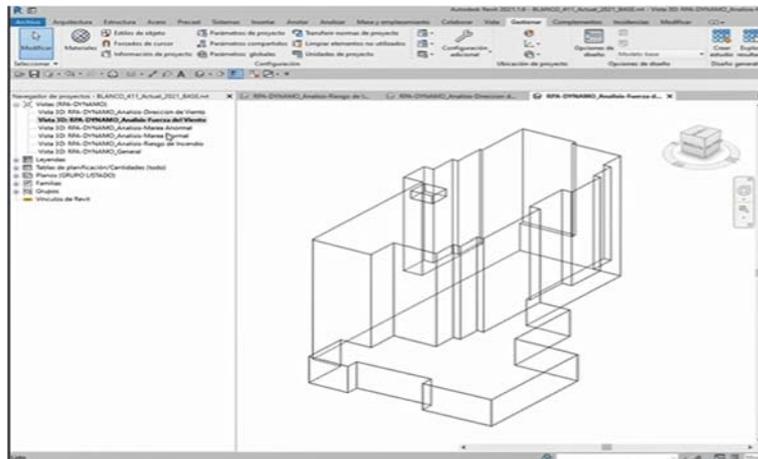


Fig. 8 Modelo BIM general del edificio del caso aplicado (representación mediante una masa/fachada)

Luego de que el “bot” abre la aplicación Revit sigue con Dynamo donde se encuentra definido el script que permite la extracción de datos desde archivo Excel y llevarlos a la masa de estructura, con el despliegue visual y categorizado en colores como se muestra en la Figura 9.

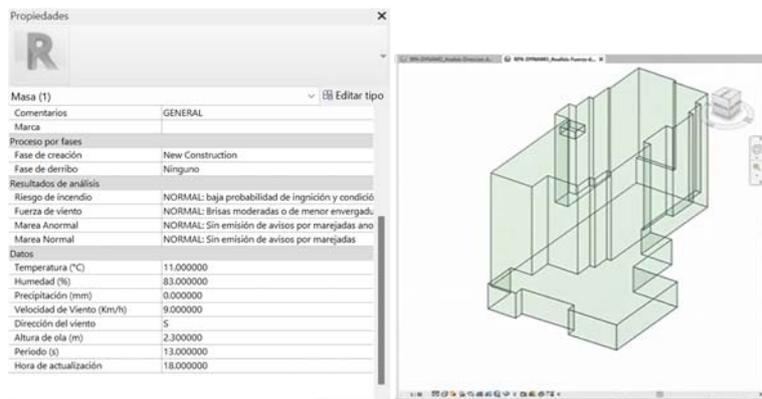


Fig. 9 Vista general del gemelo digital luego de actualizar los datos.

Finalmente, en la sección (5-6) de la Figura 2 se genera la lectura de los datos por parte del “bot” y si detecta la existencia de alguna alerta que muestre un riesgo de peligro dentro de la zona monitoreada. Esta alerta se despliega como se muestra en la Figura 10.

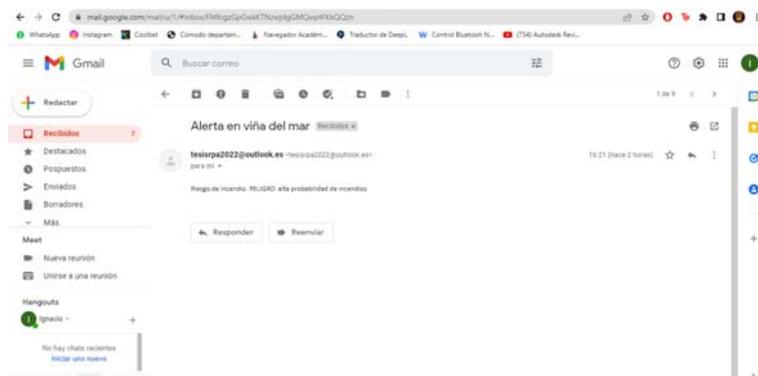


Fig. 10 Bandeja de entrada con alerta de peligro de incendio

4. Conclusión

Los trabajos académicos acerca de RPA se centran en la automatización de procesos más transaccionales como contabilidad, finanzas, gestión de clientes y back-office, entre otros. Además, RPA es un campo de estudio relativamente nuevo cuyos primeros artículos datan de 2016. Por lo tanto, este trabajo permite hacer una contribución a la industria de la AIC para el aprovechamiento de esta tecnología emergente a través de la construcción de un prototipo de un DT. RPA permitió la gestión de datos desde sitios web, importación de archivos y la interacción con el software Autodesk Revit para actualizar los parámetros del DT. Además, este DT operó como un sistema de alertas frente a riesgos que puedan afectar a la estructura o comunidad aledaña a la zona estudiada. Este caso de implementación es nuevo dentro de la ingeniería civil, lo cual entrega oportunidades para ampliar y aprovechar el potencial de RPA en trabajos que desarrollen en mayor profundidad el concepto de DT.

Se pudo verificar que RPA (y la marca UiPath) y softwares involucrados en el proceso interoperaron adecuadamente lo que abre la posibilidad de automatizar otros procesos de la AIC basados en BIM y productos Autodesk®. Así también, como futuro trabajo se propone extender el alcance de la automatización a modelos más complejos, como sistemas de edificios de manera de que el sistema de alertas pueda ponderar como afecta un determinado riesgo según la localización de las estructuras en una determinada área. Así también, la complejidad de los modelos BIM, el tamaño de los archivos involucrados y la cantidad de parámetros supondrá una determinada infraestructura de hardware y software que deberá ser evaluada en términos de la correcta operación del proceso, de cara a utilizarlo formalmente como un sistema de alertas fiable.

Finalmente, la prueba de concepto realizada permitió mostrar como RPA permite emular un entorno IoT y generar un DT aún sin teniendo acceso directamente a un sistema de sensores. Lo anterior abre posibilidades de escalar estos modelos digitales con diferentes fuentes de datos, las cuales podrían estar compuestas de manera mixta: sensores y datos secundarios.

Las limitaciones de este trabajo están relacionadas con: (i) la complejidad del modelo BIM utilizado: considerando que no se explora mayor detalle en el modelo más que la masa que envuelve a la edificación. La forma en que afectan los diferentes parámetros al interior de la edificación o su influencia según la altura, tipo de material, por ejemplo, se propone como futuro estudio. Así también (ii) en miras a utilizar esta tecnología como un sistema de alertas, se deberá considerar la validación de las fuentes de datos como también fuentes alternativas en la medida que no estén disponibles, por ejemplo, ante una caída de los sitios web.

Agradecimientos

Proyecto PID2021-126405OB-C32 financiado por MCIN/AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE Una manera de hacer Europa.

Referencias

- ÁLVAREZ J.V. et MARTINEZ F.G. (2016) Marejadas costa afuera, pronósticos de oleaje local y cierres de puerto, *in VII Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria*, San Antonio, Chile, SOCHID, 1-13.
- ATENCIO E., KOMARIZADEHASL S., LOZANO-GALANT J.A. et AGUILERA M. (2022) Using RPA for Performance Monitoring of Dynamic SHM Applications, *in Buildings*, 10.3390/buildings12081140, 1140.
- AXMANN B. et HARMOKO H. (2021) The Five Dimensions of Digital Technology Assessment with the Focus on Robotic Process Automation (RPA), *in Tehnički glasnik*, 10.31803/tg-20210429105337, 267-274.
- BOGGINO G., JUAREZ M.G., BOTTI V.J. et GIRET A.S. (2021) Digital Twins: Review and Challenges, *in Journal of Computing and Information Science in Engineering*, <https://doi.org/10.1115/1.4050244>, 1-23.
- DANG N.S., KANG H., LON S. et SHIM C.S. (2018) 3D digital twin models for bridge maintenance, *in Proceedings of 10th International Conference on Short and Medium Span Bridges*, 1-9.

Hacia una integración entre BIM y Robotic Process Automation: Una prueba de concepto. Atencio-Castillo, Edisona., Ignacio Alfaro, Felipe Muñoz-La Riverad Lozano-Galant, Fidel y Lozano-Galant, José

FORCAEL E., FERRARI I., OPAZO-VEGA A. et PULIDO-ARCAS J.A. (2020) Construction 4.0: A literature review, in *Sustainability (Switzerland)*, 10.3390/su12229755, 1-28.

FORESTALES E.D.E.C. (2005) Universidad de Chile, in *Bosque*.

HARRAST S.A. (2020) Robotic process automation in accounting systems, in *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 10.1002/jcaf.22457, 209-213.

HERM L.V., JANIESCH C., HELM A., IMGUND F., HOFMANN A. et WINKELMANN A. (2022) A framework for implementing robotic process automation projects, <https://doi.org/10.1007/s10257-022-00553-8>, Springer Berlin Heidelberg.

JONES D., SNIDER C., NASSEHI A., YON J. et HICKS B. (2020) Characterising the Digital Twin: A systematic literature review, in *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, CIRP, 36-52, 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.

MEŽA S., MAUKO PRANJIĆ A., VEZOČNIK R., OSMOKROVIĆ I. et LENART S. (2021) Digital Twins and Road Construction Using Secondary Raw Materials, in *Journal of Advanced Transportation*, 10.1155/2021/8833058.

MUNIR M., KIVINIEMI A., JONES S.W. et FINNEGAN S. (2020) The business value of BIM for asset owners: a cross-case analysis, in *Journal of Facilities Management*, 10.1108/JFM-06-2020-0037, 469-486.

SALCEDO-BOSCH A., ROCADENBOSCH F., GUTIÉRREZ-ANTUÑANO M.A. et TIANA-ALSINA J. (2021) Estimation of wave period from pitch and roll of a lidar buoy, in *Sensors (Switzerland)*, 1-18, 10.3390/s21041310.

SHAH K., PRABHAKAR T. V., SARWESHKUMAR C.R., ABHISHEK S. V et T V.K. (2021) Construction of a Digital Twin Framework using Free and Open-Source Software Programs, *7801*, c, 1-8, 10.1109/MIC.2021.3051798.

SHIM C.S., KANG H.R. et DANG N.S. (2019) Digital twin models for maintenance of cable-supported bridges, in *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019, ICSIC 2019: Driving Data-Informed Decision-Making*, 737-742, 10.1680/icsic.64669.737.

SIDERSKA J. (2020) Robotic Process Automation-a driver of digital transformation?, in *Engineering Management in Production and Services*, 21-31, 10.2478/emj-2020-0009.

WANNER J., HOFMANN A. et FISCHER M. (2019) AIS Electronic Library (AISel) Process Selection in RPA Projects – Towards a Quantifiable Method of Decision Making.

YAMAMOTO T., HAYAMA H., HAYASHI T. et MORI T. (2020) Automatic energy-saving operations system using robotic process automation, in *Energies*, 10.3390/en13092342.

YE C., BUTLER L., CALKA B., IANGURAZOV M., LU Q., GREGORY A., GIROLAMI M. et MIDDLETON C. (2019) A digital twin of bridges for structural health monitoring, in *Structural Health Monitoring 2019: Enabling Intelligent Life-Cycle Health Management for Industry Internet of Things (IIOT) - Proceedings of the 12th International Workshop on Structural Health Monitoring*, 1619-1626.

YOUN H.C., YOON J.S. et RYOO S.L. (2021) HBIM for the characteristics of Korean traditional wooden architecture: Bracket set modelling based on 3D scanning, in *Buildings*, 10.3390/buildings11110506.

UTILIZACIÓN DE BIM PARA LA GENERACIÓN DE FICHAS RELATIVO A LA MANIFESTACIÓN PATOLÓGICA EN EDIFICIOS HISTÓRICOS

García-Valldecabres, Jorge L.^a; Escudero, Pablo Ariel^b; López González M. Concepción^c Cortés Meseguer, Luis^d

^aProfesor titular de universidad (Universitat Politècnica de València, España) jgvalde@ega.upv.es, ^bArquitecto investigador (PEGASO, Universitat Politècnica de València, España) pabes@upv.edu.es, ^cCatedrática de escuela universitaria (Universitat Politècnica de València, España) mlopezge@ega.upv.es, ^dProfesor contratado doctor (Universitat Politècnica de València, España) luicorme@upv.es

Abstract

This article focuses on the conservation and cultural management of architectural heritage, specifically on the usefulness of the HBIM methodology and the generation of records from Revit models for the maintenance of historic buildings. The Church of San Lorenzo in Valencia is used as a case study due to its historical richness and heritage protection. Record generation is an efficient and precise technique for obtaining detailed information about the elements of a building from a database. The automation of processes through Dynamo routines facilitates the massive generation of these records. In addition, the HBIM methodology allows for the incorporation of intangible characteristics such as the cultural values of the heritage asset, generating models and simulations for its physical and functional representation. Efficient management of cultural assets involves an organized and methodical process that underpins decision-making that is efficient and sustainable. The documentation of cultural assets not only serves for the preservation of their history and image, but it is also a source of information for the dissemination of heritage values. In this sense, a methodological contribution is sought that facilitates the massive generation of documents based on the HBIM model.

Keywords: HBIM, heritage, conservation, management, pathologies.

Resumen

Este artículo se enfoca en la conservación y gestión cultural del patrimonio arquitectónico, específicamente a la utilidad de la metodología HBIM y la generación de fichas a partir de modelos de Revit para el mantenimiento de edificios históricos. La Iglesia de San Lorenzo de Valencia se utiliza como caso de estudio debido a su riqueza histórica y protección patrimonial. La generación de fichas es una técnica eficiente y precisa para obtener información detallada sobre los elementos del edificio de una base de datos. La automatización de procesos mediante rutinas Dynamo facilita la generación masiva de estas fichas. Además, la metodología HBIM permite incorporar características intangibles como los valores culturales del bien patrimonial, generar modelos y simulaciones para su representación física y funcional. Una gestión eficiente de los bienes culturales implica un proceso organizado y metódico que fundamenta la toma de decisiones resulte eficiente y sostenible. La documentación de los bienes culturales no solo sirve para la preservación de su historia e imagen, sino que también es una fuente de información para la difusión de los valores patrimoniales. En este sentido se busca una aportación metodológica que facilite la generación masiva de documentos basado en el modelo HBIM.

Palabras clave: HBIM, patrimonio, conservación, gestión, patologías.

Introducción

La conservación y gestión cultural del patrimonio arquitectónico es un proceso clave para garantizar la supervivencia de estos a lo largo del tiempo. En este sentido, es necesario llevar a cabo una gestión eficiente, es decir, un enfoque organizado y metódico apoyado en la toma de decisiones relacionadas con criterios de eficiencia y sostenibilidad. En el documento adoptado por ICOMOS en el año 2011, "Principios de La Valeta", se establece la importancia de conocer profundamente los lugares históricos y su entorno para cualquier acción de conservación, como también, la necesidad de una planificación adecuada la cual requiere una documentación precisa y actualizada en tiempo real (ICOMOS, 2011). En relación con esto, se propone la utilización de la metodología HBIM como una herramienta eficaz capaz de lograr una visión integral de los edificios patrimoniales, ya que, la misma puede incorporar información cuantitativa y cualitativa a partir de diferentes parámetros de información que son relacionados con la geometría 3D.

La metodología HBIM se plantea como una solución para la representación física y funcional de los edificios a través de modelos digitales, además, es posible integrar características intangibles como, valores culturales asociados a elementos representativos del edificio de una forma estructurada y coherente. Esto permite la generación de modelos y simulaciones que pueden representar diferentes aspectos, por ejemplo, fases constructivas, estratigrafías, fichas de reconocimiento, modelos de difusión, etc.; útiles para la conservación, gestión y difusión (Brumana, 2013) (Lo Turco, 2017).

En la mayoría de los casos el patrimonio arquitectónico presenta una cierta complejidad producto de las diferentes capas de información que se acumulan con el paso del tiempo, por ello es importante la organización cronológica de los datos del bien. Con el objetivo de organizar los datos en modelos centralizados HBIM, es necesaria la implementación de una base de datos, un repositorio central que concentre todas las informaciones sobre el objeto de estudio. La implantación de este repositorio genera la necesidad de estudiar la visualización de la información recolectada y como esta es utilizada para la conservación y gestión.

1. Objetivos

Este artículo propone la generación de fichas a partir de modelos HBIM como una técnica útil en la conservación y gestión de edificios históricos, permitiendo obtener información detallada y precisa sobre los distintos elementos del edificio. La aportación busca facilitar la identificación y relación de la documentación del edificio con cada una de las partes de este. Para ello, se exploran las herramientas y técnicas utilizadas para extraer información de un modelo, como son las propiedades paramétricas de los distintos elementos, el diseño de tablas y la generación de las vistas predefinidas. La conjunción de estas informaciones nos permitirá la creación de fichas de reconocimiento sobre los elementos del edificio, siendo esto de utilidad para la identificación de las necesidades de mantenimiento preventivo y conservación. Por último, se crean diferentes rutinas que buscan automatizar los procesos repetitivos mediante el uso de Dynamo para facilitar la generación masiva de fichas.

2. La iglesia de San Lorenzo de Valencia

La elección de la Iglesia de San Lorenzo como caso de estudio para la experimentación de HBIM, se debe a su riqueza histórica, a las diversas patologías que posee y por contar con diferentes levantamientos gráficos de alta precisión e información existente de escaneos láser. El edificio religioso está ubicado en el centro histórico de la ciudad de Valencia, precisamente en el barrio de la Seo en la Plaza de San Lorenzo, este sector constituye el corazón cívico y religioso con abundante presencia de edificios eclesiásticos de carácter nobiliario. Además, se localiza en el interior del recinto amurallado que conformaba la antigua ciudad romana de Valentia, que posteriormente también se convertiría en parte del recinto amurallado musulmán.

En el año 1233 después de la reconquista de Valencia, el rey D. Jaime en fundó y dotó económicamente el templo de la Catedral, y a doce iglesias destinadas como parroquias de la ciudad, dentro de las cuales se

encontraba la de San Lorenzo (Boix, 1849). La iglesia fue construida sobre los restos de una antigua mezquita árabe, mencionada por primera vez en 1239 en el real registro *Memoriarum de Domibus Valentie* con el nombre de San Lorenzo, en el *Llibre del Repartiment*. Esta fue ampliada por el caballero Nicolas Catalá de Valeriola en el siglo XV para construir una capilla lateral a los pies del edificio, que se demolió entre los años 1908-1909. (Ferrer Orts, 2016)

En el siglo XVII, se contrató al maestro de obras Jerónimo Bexet para construir una casa cercana al cementerio de la parroquia. En 1682, el gremio de zapateros acordó reformar la capilla dedicada a San Crispín y San Crispiniano y en estos años se procedió al derribo del antiguo templo medieval y a la construcción de una nueva iglesia, basada en las trazas de Gaspar Díez, por parte del maestro de obras Agustín Maiques. El edificio resultante incluyó las dos portadas obra del arquitecto Pedro Angost y del cantero Bernardo Pons, todavía existentes en la actualidad. La decoración y la torre campanario fueron añadidas en la primera mitad del siglo XVIII.

En 1683, se construyó un nuevo retablo diseñado por Tomás Vergara y ejecutado por el reputado escultor Leonardo Julio Capuz. Adentrado el siglo XVIII, en el año 1743 se encargó la construcción de la torre campanario al arquitecto José Mínguez. Durante los próximos doscientos años, el edificio permaneció en gran parte sin cambios hasta que se construyó el convento de los franciscanos a finales del siglo XIX.

La Iglesia de San Lorenzo está incluida en el catálogo de patrimonio arquitectónico protegido como un bien inmueble de relevancia local (BRL), según la Ley de Patrimonio Cultural Valenciano 4/1998. Además, por su situación frente al Palacio de los Borja, construido en el siglo XV y actual sede de las Cortes Valencianas, es muy visitada por los valencianos y turistas.

3. Metodología

El proyecto se inició partiendo del análisis de la información existente, para ello se realizó un levantamiento del edificio que tuvo como finalidad conocer las dimensiones, materiales y estado de conservación en la actualidad. Este estudio consistió en una campaña de reconocimiento con técnicas de inspección visual directa, complementado con diferentes estacionamientos de escáner laser 3D (Faro Focus3D X-130), de la que se obtuvo la nube de puntos y gran parte de la documentación fotográfica. La información generada en el proceso fue centralizada en un modelo 3D, un gemelo virtual del edificio en BIM (Murphy, 2009) (fig. 1-2).

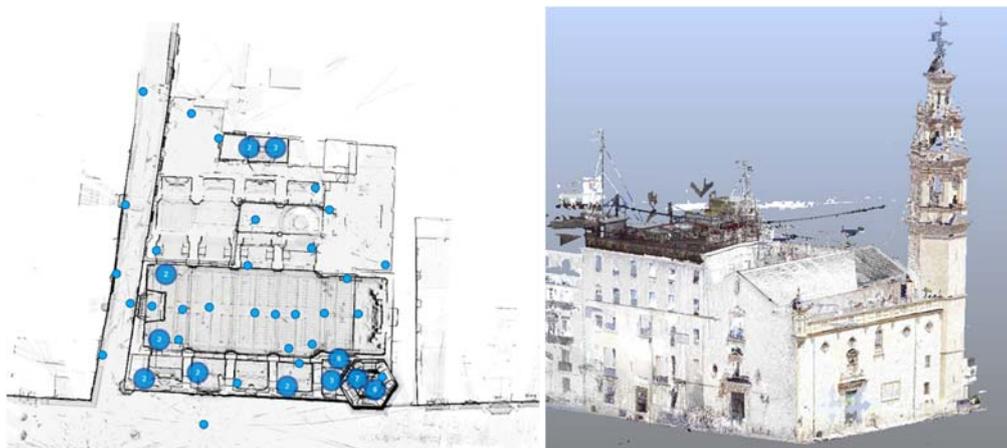


Fig. 1 Nube de puntos de la Iglesia de San Lorenzo. Fuente los autores, 2018.

El modelo HBIM está constituido por tres partes fundamentales, en primer lugar, el modelo geométrico 3D de la Iglesia de San Lorenzo que reconstruye la forma de los elementos constructivos, seguido del modelo semántico que reconoce y dota de sentido a los elementos del patrimonio y, por último, el modelo de información que crea una base de datos con los atributos de cada elemento constitutivo del edificio. (Nieto Julián, 2016) (Santoni, 2020).

Seguido, fue realizada una clasificación de los distintos espacios, como también, un estudio pormenorizado de los elementos constructivos y materiales existentes del edificio. Esto permitió generar una base de datos organizada en Microsoft® Access (fig. 2), que posteriormente fue incorporada al modelo, relacionándose con

la geometría 3D. La información geométrica del edificio fue modelada con el software BIM, Autodesk® Revit, tomando como referencia las imágenes y escaneos de los levantamientos realizados en los últimos años, este consistió en la generación tridimensional de los elementos constructivos.

La relación de la base de datos con el modelo 3D fue posible a partir de la implementación de los parámetros de Revit, estos dotan a la geometría de información. En nuestro caso el objetivo era generar fichas de reconocimiento material de los elementos constructivos, con la cual, se generaron parámetros específicos de proyecto y parámetros compartidos.

Para estructurar la información de las fichas se crearon tres grupos de parámetros, el primer grupo estuvo formado por la información de proyecto definida por defecto en Revit, adicionando parámetros complementarios como: “correo”, “ID elemento”, “Localización”, “Municipio” y “Ref. Catastral”. Un segundo grupo formado por datos que afecten a cada uno de los elementos de estudio: “autor”, “descripción”, “estilo”, “autor”, “periodo” y “tipología”. Por último, un tercer grupo dedicado al estudio de las lesiones: “tipo de lesión”, “porcentaje de afectación”, “localización de la lesión”, “descripción” y “recomendaciones”. El conjunto de los parámetros generados afecta a todos los elementos de análisis y conforman los campos de cada una de las fichas.

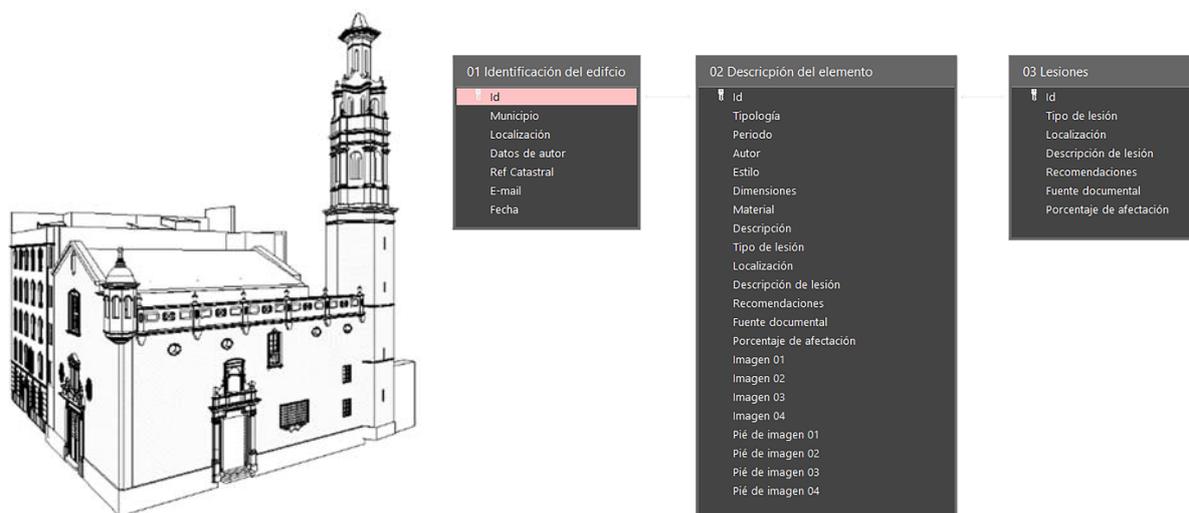


Fig. 2 Modelo en BIM de la Iglesia de San Lorenzo y modelo de base de datos en Access. Fuente los autores, 2021.

Para realizar la estructura de la ficha, se generó una familia de Revit con las dimensiones de hoja DIN A4 que se relacionaba a través de parámetros compartidos de proyecto. En esta plantilla se incorporaron los parámetros generales correspondientes a la información del proyecto, los mismos, se mantendrán inalterables para todas las fichas, ya que se trata de la información general de identificación del edificio. En el caso de los parámetros que varían a partir de cada elemento, fue necesario generar etiquetas de multicategoría que contiene los parámetros específicos.

La generación masiva de fichas es posible a través de la programación de diferentes rutinas en la aplicación complementaria de Revit, Dynamo, estas tienen la función de automatizar las tareas repetitivas. Para la elaboración de las fichas con la información de la Iglesia de San Lorenzo, se generaron cinco rutinas. Una primera rutina genera las fichas con sus respectivas nomenclaturas a partir de la extracción de la información de una base de datos realizada en Access (fig. 3). Una segunda rutina selecciona cada uno de los elementos de análisis y a través de la base de datos, completa automáticamente los campos de cada uno de los parámetros específicos (fig. 4).

Con el objetivo de facilitar la identificación de cada una de las fichas se realizó una tercera rutina que crea un código QR único con la información específica extraída de cada ficha, que al mismo tiempo es importado como imagen nuevamente a la ficha, siendo redimensionado y ubicado por coordenadas en la hoja a partir de parámetros (fig. 5).

Una cuarta rutina importa las imágenes del levantamiento desde un directorio o listado en Excel, las cuales son redimensionadas y ubicadas en posición a través de coordenadas en el espacio de la ficha. Por último, una quinta rutina coloca las vistas en los espacios especificados y exporta el conjunto de fichas en un archivo único en formato “.pdf” (fig. 6).

Con este procedimiento es posible automatizar la generación masiva de fichas, así también la creación de un directorio con la totalidad de las imágenes correctamente identificadas y una base de datos en Excel que posea la información de cada uno de los elementos de análisis (Escudero, 2021).

Utilizando la metodología descrita, se pudo obtener una representación precisa de la Iglesia de San Lorenzo, que incluyó información detallada sobre los elementos arquitectónicos y su estado actual. Esta información puede ser útil para la gestión y la conservación de la iglesia, así como su uso para fines educativos y de divulgación.

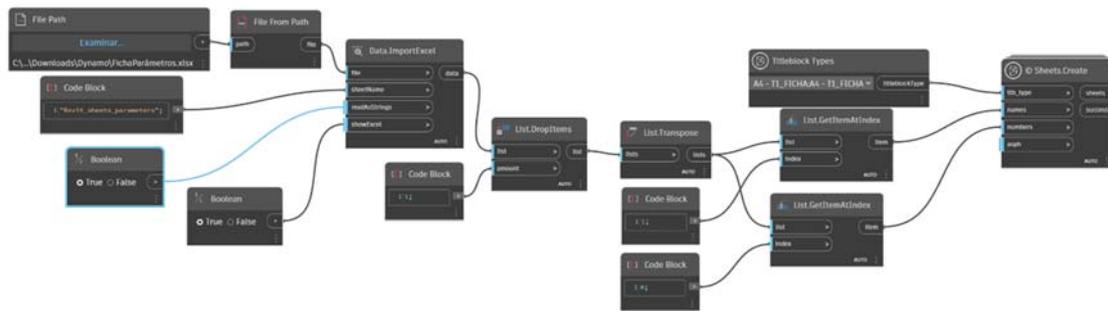


Fig. 3 Rutina en Dynamo para generar plantilla de fichas en Revit a partir de una base de datos en Excel. Fuente: los autores, 2022.

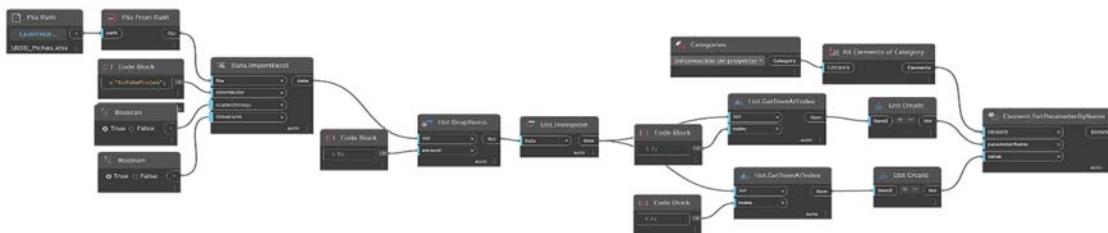


Fig. 4 Rutina en Dynamo que completa automáticamente los campos de los parámetros de cada uno de los elementos de análisis a través de una base de datos en Excel. Fuente: los autores, 2022.

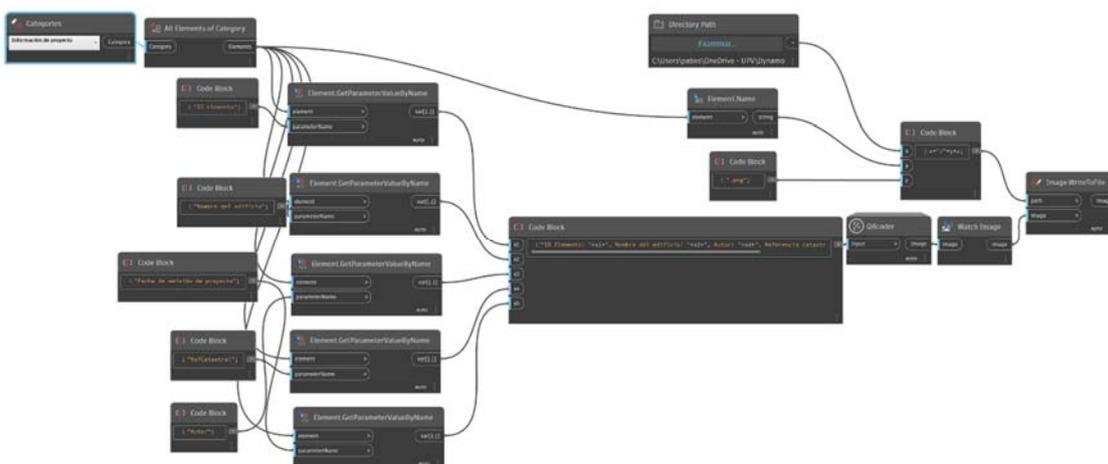


Fig. 5 Rutina en Dynamo que genera QR code con la información del proyecto para cada ficha. Fuente: los autores, 2022

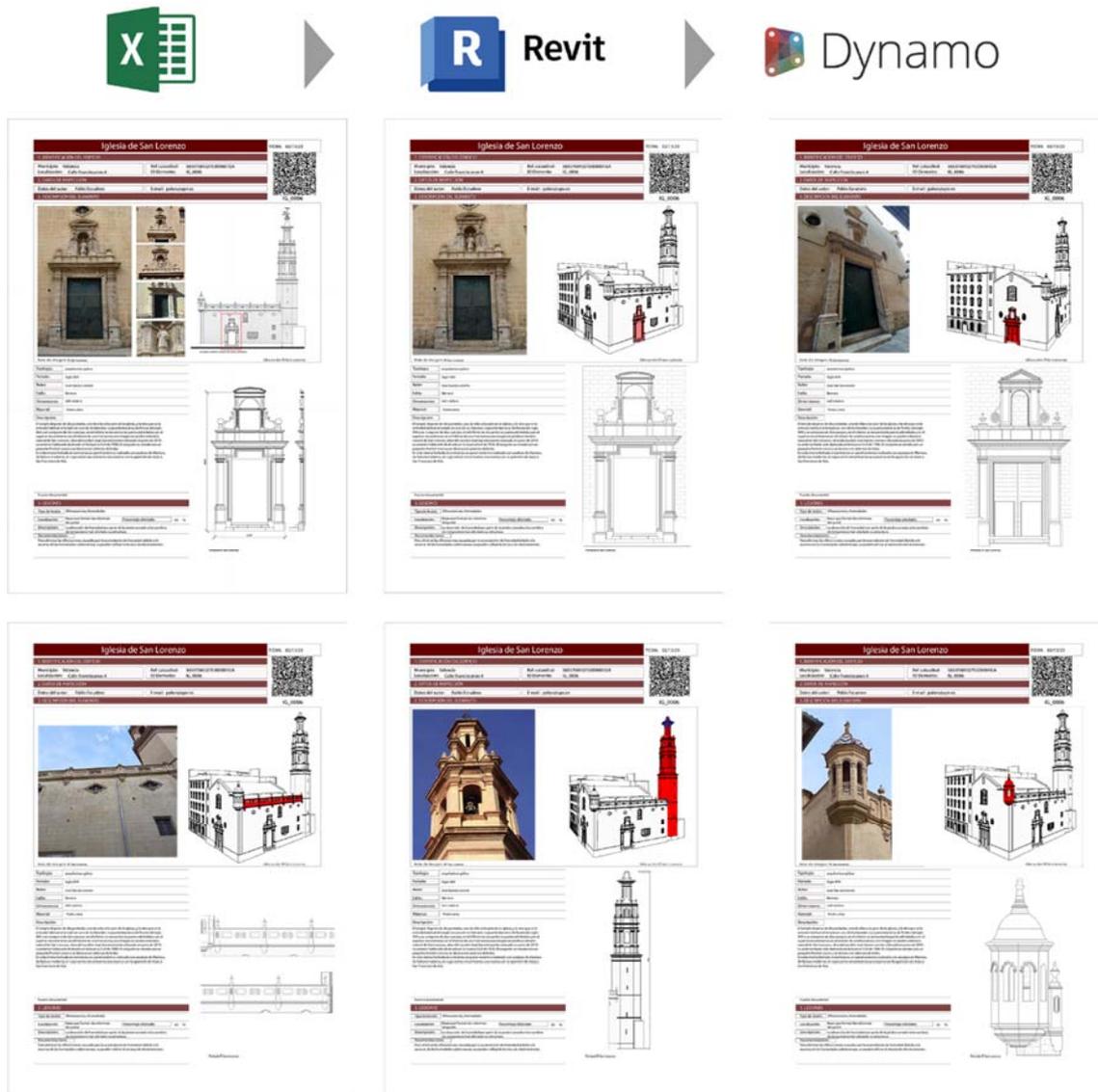


Fig. 6 Fichas generadas a partir de rutina relativas a la Iglesia de San Lorenzo de Valencia. Fuente: los autores, 2022.

4. Resultados y conclusiones

La conservación de edificios históricos es fundamental para preservar nuestra historia y cultura, para lograrlo es necesario contar con herramientas y técnicas que permitan recopilar información precisa y detallada sobre cada uno de los elementos que componen estos edificios, así como tomar decisiones informadas en cuanto a su mantenimiento y conservación. En este sentido, el uso de tecnologías como la fotogrametría y la modelización HBIM resultan sumamente útiles para el registro y análisis de edificios históricos. Estas tecnologías permiten la creación de modelos 3D de alta precisión que contienen información detallada facilitando así su gestión y conservación.

La generación de un repositorio que centralice y sistematice los datos es fundamental para su vinculación con un modelo HBIM. La generación de las fichas es el resultado de la interacción de estos, resulta una técnica útil para la visualización de los datos de los edificios históricos a partir de modelos HBIM. La organización nos permite evitar las informaciones duplicadas y obtener la información de forma eficiente y precisa. No resulta una novedad la generación masiva de fichas a través de otros *softwares* que almacenan la información en bases de datos, pero este procedimiento busca mantener la centralidad de la mayor parte de la información en un modelo HBIM.

La creación de plantillas para la generación de fichas de identificación para los diferentes elementos que componen el edificio son otro aspecto clave de esta técnica. Las plantillas permiten definir los parámetros

relevantes, como la altura, el ancho, la longitud, la función del elemento, el material, entre otros. De esta forma, las fichas quedan personalizadas para cada uno de los elementos del edificio.

Otro aspecto importante en la gestión de edificios históricos es la identificación rápida y sencilla de la información correspondiente a cada elemento. En este sentido, el uso de códigos QR únicos para la identificación de cada ficha permite una rápida y fácil referencia de la información de cada elemento del edificio. Esto resulta especialmente útil en el caso de necesitar acceder a la información específica sobre un elemento en particular.

En conclusión, el uso de tecnologías de modelización y registro, combinado con la creación de plantillas para la generación de fichas de identificación, resultan de gran utilidad para la gestión y conservación de edificios históricos.

El estudio que se expuso forma parte del proyecto I+D+i denominado Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística. Financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación en convocatoria pública concedida a la Universitat Politècnica de València.

Referencias

- BOIX, V. (1849). *Manual del viajero y guía de los forasteros*. Valencia: Imprenta de José Rius.
- BRUMANA, R., ORENI, D., RAIMONDI, A., GEORGOPOULOS, A., Y BREGIANNI, A. (2013). "From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi" *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*. Marseille, France, 2013, pp. 497-504, doi: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743789.
- España. Decreto 57/1993, de 3 de mayo, por el que se declara Bien de Interés Cultural el conjunto histórico de Valencia, Diario Oficial de la Comunidad Valenciana (DOCV).
- ESCUADERO, PA. (2021). "Las fases históricas de la Iglesia de San Lorenzo de Valencia a través de la utilización de la metodología HBIM". *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*. Vol. (15), pp.104-119. <https://doi.org/10.4995/ege.2021.16614>
- FERRER ORTS, A. (2016). "La Iglesia y el convento de San Lorenzo (Valencia), antigua sede de la provincia franciscana de San José de Valencia, Aragón y Baleares". *Hispania Sacra*. Vol. LXVIII (138), pp. 491-501. <https://doi.org/10.3989/hs>
- ICOMOS (2011). Principios de La Valeta para la salvaguardia y gestión de las poblaciones y áreas urbanas históricas. Adoptado por la XVII Asamblea General de ICOMOS.
- LO TURCO, M., M. MATTONE Y F. RINAUDO, (2017). "Metric survey and BIM technologies to record decay conditions" *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(5W1), pp. 261-268.
- MURPHY M., MCGOVERN E., PAVIA S. (2009). "Historic building information modelling (HBIM)". *Structural Survey*, 27 (4), pp. 311-327.
- NIETO JULIAN E., MOYANO J.J., RICO DELGADO F., ANTÓN GARCÍA D. (2016). "Management of built heritage via HBIM Project: a case of study of flooring and tiling". *Virtual Archaeology Rev.* 7 (2016) 1, <http://dx.doi.org/10.4995/var.2016.4349>.
- SANTONI, A., MARTÍN-TALAVERANO, R., QUATTRINI, R. y MURILLO-FRAGERO, J. (2020). "HBIM approach to implementing the historical and constructive knowledge. The case of the Real Collegiate of San Isidore (León, Spain)". *Virtual Archaeology Review*. 12(24):49-65. <https://doi.org/10.4995/var.2021.13661>

MODELOS DE INFORMACIÓN DE PAVIMENTOS (PIM): REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM APLICADA A CARRETERAS

Lastra-González, Pedro^a, Manchado-del-Val, Cristina^b, Gómez-Jauregui, Valentin^c y Otero-González, Cesar Antonio^d

^aUniversidad de Cantabria, GITECO Research Group, lastragp@unican.es, ^bUniversidad de Cantabria, Research Group EgiCAD, ^ccristina.manchado@unican.es, ^dvalen.gomez.jauregui@unican.es, cesar.otero@unican.es.

Abstract

BIM is developing in the public construction field, adapting to the different singularities that each sector presents. The traditional management of road projects has proved to be unable to manage all the resources currently available, which go beyond the layout modelling and its viewing. Pavement Information Modelling (PIM) can be the response of the road sector to carry out a management model of the data that fits its special features, such as the design of big linear works which tend to cover dozens of kilometres, the application of standards and own legislation, the control of a productive process with singular materials, or the management of the maintenance of the work due to its impact within the life cycle of the project. The PIM objective is to effectively manage the relevant data in this type of projects, increasing the level of maturity of this technology that is becoming more applied day to day. This article gathers the more relevant contributions that have been performed up to day, attempting to show the special features of the methodology and the solutions adopted.

Keywords: PIM, BIM, pavements, Asphalt 4.0, Smart roads.

Resumen

BIM está progresando en el campo de la obra pública, adaptándose a las diferentes singularidades que tiene cada sector. La gestión tradicional de los proyectos de carreteras ha demostrado ser incapaz de gestionar todos los recursos con los que se cuenta en la actualidad, que van más allá del modelado del trazado y su visualización. El Pavement Information Modelling (PIM) puede ser la respuesta del sector de las carreteras para desarrollar un modelo de gestión de la información que se adapte a sus particularidades, como son el diseño de grandes obras lineales que suelen abarcar decenas de kilómetros, la aplicación de estándares y normativa propia, el control de un proceso productivo con materiales propios del área, o la gestión del mantenimiento de la obra dado su impacto dentro del ciclo del proyecto. El objetivo del PIM es gestionar eficazmente la información relevante en este tipo de proyectos, incrementando el nivel de madurez de esta metodología que cada día se aplica en mayor medida. El presente artículo recoge las aportaciones más relevantes que se han desarrollado hasta la fecha, tratando de mostrar las singularidades de la metodología y las soluciones adoptadas.

Palabras clave: PIM, BIM, pavimentos, Asphalt 4.0, Carreteras inteligentes.

Introducción

La red viaria es una infraestructura clave en las comunicaciones de cualquier país. El número de personas/km que se desplazan por carretera en la unión europea alcanza el 92% del total, mientras que en el caso del transporte de mercancías la cantidad de toneladas/km transportadas por carretera es del 72% respecto a otros medios (Basilico et al., 2021). Estos datos dan un valor del impacto social y económico que tiene este tipo de infraestructura, y lo importante que resulta una gestión adecuada de los proyectos vinculados a las carreteras.

La metodología BIM ha supuesto un cambio de paradigma en la obra civil, sin embargo, su aplicación es desigual en función de si se trata de un proyecto de una obra singular, como pudiera ser una edificación, un puente o un túnel; o de un proyecto de una obra lineal como pudiera ser una carretera o un ferrocarril. Algunas particularidades de estos proyectos lineales, como las grandes dimensiones horizontales de los modelos o la diferente tipología de los objetos, ha provocado un retraso en la aplicación de esta metodología respecto a otros campos de la obra pública (Bosurgi et al., 2020). Además, se da la circunstancia de que el periodo de vida útil de la capa de rodadura de una carretera es muy breve comparado con otras obras, oscilando entre los 10 y 15 años dependiendo del tipo de mezcla (Lizasoain-Arteaga et al., 2019, 2020), lo que unido a las grandes longitudes de este tipo de obra provoca que el coste asociado a las fases de mantenimiento y rehabilitación respecto al coste de construcción sea proporcionalmente muy alto, y requiera de grandes inversiones anuales por parte del estado (de la Peña, 2020). Esto condiciona el peso de las diferentes etapas del ciclo de vida de la carretera (Figura 1), que además se han actualizado a medida que el impacto ambiental ha ido ganando relevancia, considerando el fin de la vida útil de un pavimento como otra etapa a valorar en el ciclo de vida de la infraestructura (EN 15804, 2020).

Los avances logrados en la evaluación de los pavimentos y caracterización de materiales (Shrestha et al., 2021), el desarrollo de nuevos sistemas de monitorización de la carretera (Cano-Ortiz et al., 2022), y la actualización de los estándares a los proyectos de obras lineales, tal y como ha ocurrido con el desarrollo del formato IFC (Erismann & Plume, 2021), han supuesto un firme impulso en el desarrollo de la metodología BIM aplicada en carreteras. Estos desarrollos junto a las nuevas necesidades de los proyectos de carreteras han cristalizado en el Pavement Information Modelling (PIM), metodología cuyas principales características y aplicaciones trata de recoger este artículo, analizando las diferentes etapas del ciclo de vida de la carretera que en realidad, coinciden prácticamente con el ciclo de vida de un activo BIM (ISO 19650-1, 2020), como puede verse en la Figura 1.



Fig. 1 Ciclo de vida de una obra de construcción (arriba) y de un activo BIM (abajo). Fuente: Elaboración propia

1. El camino recorrido

Para comprender el impacto de las nuevas aplicaciones BIM sobre la gestión de carreteras, es importante valorar la situación de partida en cada una de las fases de los ciclos de vida del proyecto de la carretera.

La etapa de diseño ha sido siempre la más desarrollada tecnológicamente como ocurre en todos los sectores de la obra pública, empleando diferentes programas de base CAD o GIS que han evolucionado hasta especializarse, como ocurre con los actuales ISTRAM, CLIP o CIVIL3D. Estos programas, como en el resto de sectores, permiten alcanzar un alto grado de madurez. Las principales limitaciones se encontraban en el resto de etapas, en las que las fases de construcción y de uso y mantenimiento mantienen unas rigideces muy altas, y la fase de Fin de vida en términos generales no solía considerarse para el ciclo de

vida del proyecto dado que, desde un punto de vista económico, no era significativa. Únicamente algunos países con grandes limitaciones de material, como ocurre en Holanda, diseñaban las carreteras teniendo en cuenta criterios de reciclabilidad al final de su vida útil.

1.1. Construcción

La fabricación y puesta en obra de las carreteras ha sido un proceso que recaía en la experiencia de los jefes de obra y de los plantistas mayoritariamente. Las carreteras, entendiéndolas como la estructura multicapa que son, solían diseñarse a partir de recetas conocidas empleando áridos de la zona de la planta de asfalto y betunes normalizados, en un proceso más o menos reiterativo que se adaptaba en función del tipo de carretera y la capa en cuestión.

Los principales cambios en la etapa de construcción llegaron con la sensorización de las plantas de asfalto y con la digitalización de la maquinaria. El primer proceso aportó una gran cantidad de datos en cuanto a las temperaturas, consumos y emisiones de gases del proceso de fabricación, mejorando también la integración de las plantas en la logística de extendido de las mezclas; mientras que el segundo generó equipos que pueden trabajar de forma autónoma, interconectados entre ellos y con la propia planta de asfalto, sistematizando la obra y transmitiendo información sobre el estado del firme en tiempo real (Kuenzel et al., 2016; Serrano Tomás & Díez Díez, 2018).

Estos cambios han industrializado la fabricación y puesta en obra de las carreteras, y tienen consecuencias directas en el proceso de mejora de la sostenibilidad y reducción de costes de las carreteras, directamente relacionada con las mezclas bituminosas debido a la puesta en obra del asfalto, derivado del petróleo que debe ser calentado en torno a 150 °C para fabricar las mezclas y que, a pesar de su baja proporción, representa el coste más importante (Lastra-González et al., 2021). Toda la nueva información y control de los procesos mejora el análisis de los nuevos materiales, facilita la reducción de las temperaturas de fabricación, minimiza potenciales errores de fabricación y puesta en obra, y optimiza el control de calidad de cara a evitar futuros problemas que aparecerían en la etapa de uso y mantenimiento. Todo esto ha dado lugar al concepto Asphalt 4.0 (Gómez, 2022).

1.2. Uso y mantenimiento

La explotación de la carretera incluye todas las actividades necesarias para lograr que los usuarios puedan circular en condiciones de seguridad y fluidez, esto incluye las tareas de conservación que se fundamentan en bases de datos (inventario), alimentadas mayoritariamente a partir de auscultaciones e inspecciones de la carretera por parte de personal y ensayos especializado. A partir de los datos obtenidos se formulan unos indicadores que facilitan la programación de las actividades necesarias, en lo que se conoce como el Sistema de Gestión del Mantenimiento (GSM).

El procedimiento se basa en inspecciones visuales para identificar defectos (fisuras, roderas, piel de cocodrilo, etc.), y en auscultaciones que habitualmente suelen medir tres parámetros directamente relacionados con la seguridad, la comodidad y la capacidad estructural de la carretera: la resistencia al deslizamiento, evaluación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), y el estudio de deflexiones.

Estas operaciones comenzaron a sistematizarse a partir de softwares como TERAVAL, desarrollado por Rastertech; o TEREX GSM, creado por la Unidad de carreteras de Teruel, Ministerio de Fomento (Figura 2).

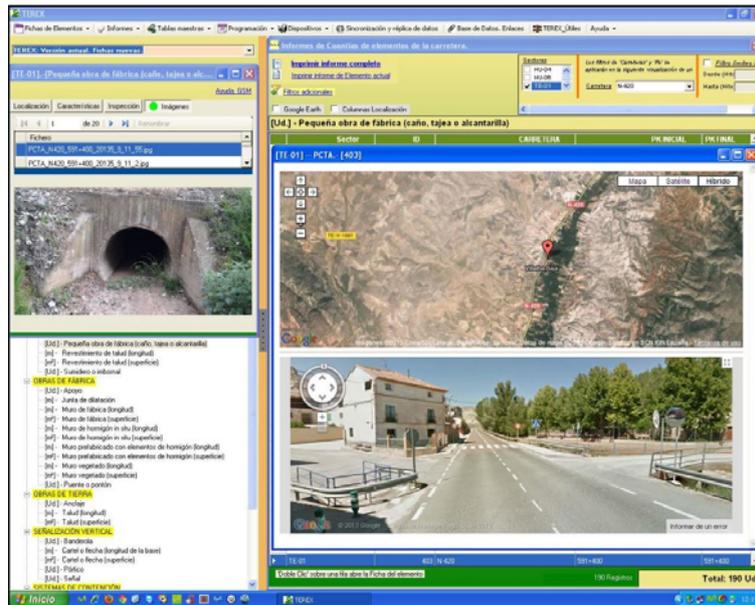


Fig. 2 Captura de pantalla del programa TEREX. Fuente: Casas Nagore (2014)

Estos programas facilitaron la incorporación de datos al sistema. La aplicación georreferenciaba la actuación y permitía valorar su estado, generando automáticamente un indicador. Esto facilitaba la toma de decisiones y la programación de las actuaciones (Casas Nagore, 2014).

En la actualidad, las labores de reconocimiento visual se han automatizado tratando de mejorar la productividad. Existen diferentes sistemas de adquisición de datos, algunos de ellos emplean sistemas láser montados sobre vehículos que recorren la carretera, logrando un alto rendimiento a partir de imágenes 2D y 3D que permiten identificar los fallos de la capa de rodadura, evaluar la geometría, el IRI y los espesores de la carretera, y georreferenciar todos estos datos. Son sistemas como el AUTOMATIC ROAD ANALYZER (ARAN) desarrollado por Fugro (Figura 3), el LASER CRACK MEASUREMENT SYSTEM (LCMS-2) de Pavemetrics, o el INTELLIGENT ROAD INSPECTION SYSTEM (IRIS) de Avestron.



Fig. 3 Equipo ARAN desarrollado por Fugro para el análisis de carreteras. Fuente: www.fugro.com (2023)

Otra alternativa menos precisa y con un alcance menor, pero igualmente útil y más económica, es la que emplea imágenes individuales y mediante algoritmos de Machine Learning detecta, localiza y clasifica los diferentes tipos de fallo visibles en la superficie (Ibragimov et al., 2020), aunque esta alternativa todavía se encuentra con algunas limitaciones relacionadas con la identificación de la gravedad y densidad de los deterioros (Sholevar et al., 2022).

La capacidad portante se evalúa en función de las deflexiones que sufre el pavimento. Habitualmente se emplea deflectómetro de impacto, que es un equipo que deja caer una masa estandarizada y mide las

deformaciones que sufre el pavimento con una serie de sensores estratégicamente colocados sobre la carretera. Es un ensayo de bajo rendimiento que toma medidas puntuales. En la actualidad se está trabajando en la evaluación continua de las deflexiones del pavimento empleando vehículos pesados que miden las deformaciones verticales que producen a su paso. Uno de estos sistemas es el INTELLIGENT PAVEMENT ASSESSMENT VEHICLE (IPAVE), que puede verse en la Figura 4. Estos vehículos, aún en fase de desarrollo, permiten obtener la rigidez del firme de manera continua, junto al resto de parámetros ya que van igualmente equipados con equipos láser para caracterizar las propiedades superficiales y geométricas del firme (Schmidt et al., 2022). Aún en fase de estandarización, su uso generalizado supondría un importante avance en el mantenimiento de carreteras, y en la gestión de las fases de operación y mantenimiento de la metodología PIM, ya que con un solo equipo se caracteriza de manera continua el estado del firme.



Fig. 4 Sistema de caracterización continua IPAVE. Fuente: Flintsch, Gerardo (2023)

1.3. Fin del ciclo de vida

El fin del ciclo de vida de una carretera tenía un peso menor dentro de la gestión de la infraestructura. Las carreteras solían fresarse y el material era empleado como relleno en suelos, o si se trataba de una mezcla de alta calidad como puede ser la capa de rodadura, se utilizaba en capas inferiores de carreteras de baja intensidad. Únicamente algunas excepciones como Países Bajos, con una gran necesidad de áridos, adaptaban el diseño de las mezclas para minimizar el uso de los betunes modificados (más difíciles de reutilizar), o llevaban a cabo proyectos pioneros para separar y facilitar el empleo del material de las carreteras (Huurman et al., 2016). Esto comenzó a cambiar a medida que la sociedad tomaba conciencia de la necesidad de reducir el impacto ambiental, y las normativas facilitaban el empleo del material fresado en mayores porcentajes y capas de la carretera. Uno de los grandes inconvenientes para lograr la reutilización del fresado al mismo nivel es su gran variabilidad. Una inadecuada gestión de la infraestructura provocaba que en muchas ocasiones se desconocieran los parámetros principales de diseño de la mezcla original, careciendo de datos como los áridos de que estaba compuesta, el tipo de betún empleado, la granulometría de la mezcla, etc. a lo que había que sumar el impacto del envejecimiento debido principalmente a las condiciones climáticas. Algunos proyectos comenzaron a emplear técnicas de etiquetado inteligente utilizando la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), con el objetivo de asegurar la futura identificación del pavimento y facilitar las rutas de reciclaje del mismo tras el fin de la vida útil de la infraestructura. Estas técnicas quedaron obsoletas, una adecuada gestión BIM de la infraestructura, con pliegos específicos que incluyan la identificación de los materiales y las principales características de las mezclas empleadas en el pavimento, es mucho más práctico y sencillo. A esta información debe unirse las propiedades del material fresado cuando finaliza la vida útil del pavimento, para lo que sería necesario identificar los ensayos que deben realizarse al mismo.

2. Pavement Information Modelling (PIM)

Los avances tecnológicos en las diferentes etapas del ciclo de vida de la carretera, unidos a las nuevas técnicas de evaluación medioambiental y económica, han fructificado en nuevas aplicaciones basadas en la metodología BIM que tratan de optimizar la administración de las carreteras gracias a su capacidad de gestión y análisis de datos, es lo que algunos autores han llamado el Pavement Information Modelling (PIM).

Aunque existen diferentes aplicaciones sobre carreteras reales vinculadas a la gestión BIM, en la mayoría de casos se trata de aplicaciones prácticas que tratan de demostrar la viabilidad de la metodología más allá de la fase de diseño. Una primera aplicación práctica para gestionar una carretera aplicando la metodología BIM fue la que se realizó en un tramo de la Autopista A20 que une Palermo y Messina (Bosurgi et al., 2022). En este caso sólo se consideró en análisis de un pavimento flexible (compuesto únicamente por mezclas bituminosas). El proceso se basó en el desarrollo de un índice (Critical State Index, CSI) para caracterizar el estado de la carretera a partir de los datos habitualmente empleados en la conservación de carreteras (IRI, deflexiones, profundidad de rodera, etc.). Este índice categorizaba el estado de la carretera en 4 niveles de mejor a peor. La importación de los datos y el cálculo del índice se realizó con dos rutinas en JavaScript, que pueden actualizarse fácilmente con nuevos datos por lo que se consideró un modelo dinámico, que proporcionaría a los operadores de carreteras una visión global del estado de la red. La representación de la carretera y su estado en función del valor del índice CSI se realizó con el software INFRAWORKS (Figura 5).



Fig. 5 Representación del estado de la carretera. Fuente: Bosurgi, G (2022)

Una segunda aplicación, con un mayor grado de desarrollo, fue la realizada por (Oreto et al., 2023), que emplearon un proceso de toma de decisiones múltiples para fomentar la economía circular de la carretera basándose en la metodología BIM. El marco metodológico en el que se basaba esta aplicación se dividía en un primer análisis del estado del firme, para lo que empleaban un indicador global de deterioro similar al anterior (en este caso Pavement Condition Index, PCI) a partir de las inspecciones visuales. Este índice está recogido en la normativa ASTM D 6433 (Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys), y sirve para evaluar de manera objetiva el estado de un firme. En función de este valor y la tipología del deterioro el algoritmo desarrollado facilitaba diferentes alternativas para intervenir sobre la carretera. El impacto ambiental de estas alternativas se calculó empleando el software SIMA PRO, el método ReCiPe fue el seleccionado para obtener unos indicadores finales que permitan comparar las diferentes soluciones, mientras que el análisis económico se realizó aplicando diferentes ecuaciones incluidas a partir de la normativa AASHTO Pavement Design Guide. Finalmente la aplicación realiza un

análisis multicriterio para seleccionar la alternativa óptima. La Figura 6 presenta la estructura de este modelo.

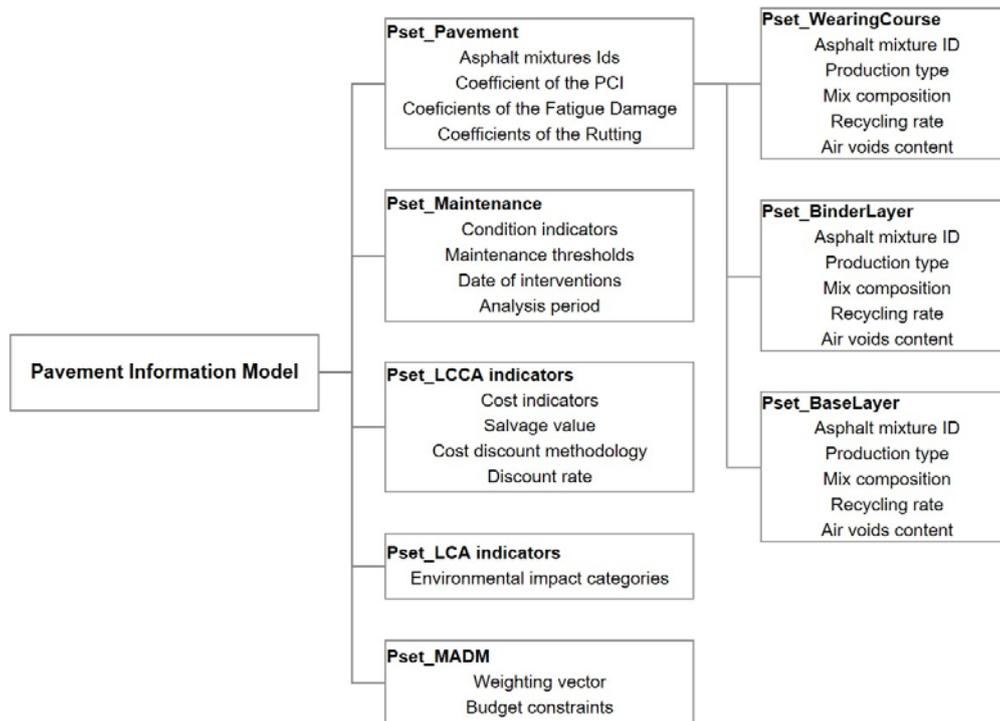


Fig. 6 Estructura del modelo BIM. Fuente: BIM. Fuente: Oreto, C (2023)

La creación y carga de los diferentes parámetros se automatizó empleando DYNAMO, además se empleó CIVIL3D y un entorno de programación visual de código abierto para integrar el análisis de ciclo de vida y para dotar al BIM de herramientas analíticas que facilitarían los cálculos y actualizarían los valores de las propiedades de los objetos. Esta aplicación se llevó a la práctica en una carretera del norte de Italia, los resultados representan una innovación en cuanto a la adopción de criterios en las fases de concepción, diseño y explotación del ciclo de vida de las infraestructuras.

Otros autores han modelado paramétricamente la estructura de la carretera a partir del software ABAQUS con el objetivo de estimar su capacidad estructural. Para ello se modelizó la sección de una carretera realizando un diseño paramétrico con el software REVIT, que representaba la estructura de un firme semi-rígido. El modelo generado era transferido al software ABAQUS mediante un software de transferencia YJK empleando archivos IFC, de esta manera se lograba emplear ABAQUS junto a otros softwares del entorno BIM. El método se empleó para modelizar una autopista entre Phnom Penh y Sihanoukville, en China. Con Revit se parametrizó su estructura, se empleó Civil3d para modelar el trazado, Infracore se utilizó para conceptualizar la obra, mientras que el cálculo de las tensiones y deformaciones verticales de la capa de rodadura se calcularon con ABAQUS (Tang et al., 2020).

Una de las aplicaciones más próxima a la gestión completa del ciclo de vida de la carretera empleando la metodología BIM y a su aplicación comercial, es la desarrollada por las principales constructoras de Países Bajos (Sluer et al., 2021). Esta herramienta, cuyo desarrollo comenzó en el año 2015, permite el acceso a todos los actores interesados a la información de todas las fases de la vida útil de la carretera (desde el diseño a la demolición); centraliza la gestión de contratos, especificaciones y materiales; permite el registro y la gestión centralizada de la fabricación de los pavimentos; proporciona una trazabilidad sobre los requisitos, garantías y planes de trabajo; facilita la optimización de la gestión de riesgos; permite determinar las propiedades de las mezclas para gestionar su mercado CE, entre otras muchas funciones directamente relacionadas con la gestión de las carreteras. La Figura 7 presenta la estructura de la aplicación.

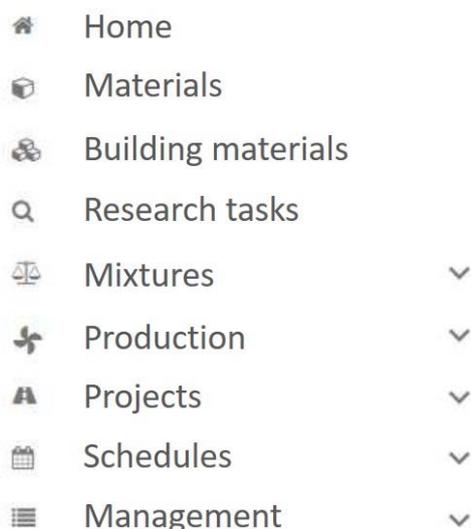


Fig. 7 Estructura general de la aplicación PIM. Fuente: Bijleveld, F (2021)

Esta aplicación PIM estructura los objetos aplicando una descomposición física y espacial, y genera diferentes capas dentro de cada descomposición para almacenar la información. De esta manera se logra caracterizar las propiedades físicas de todos los objetos involucrados en la vida del pavimento (desde los materiales que forman la mezcla (áridos y betún) hasta las características del firme completo), y almacenar los datos relativos a la localización, como puede ser determinar la ubicación de tongadas concretas, o la localización de testigos que vayan a ser analizados. Además, apoya las gestiones entre el contratista y la planta de asfalto, eliminando la ambigüedad de muchos de los procesos al permitir el intercambio de información. También facilita la programación de la planta de asfalto, de manera que esta información está disponible también para el contratista que puede enviar sus solicitudes y conocer en tiempo real el cronograma de fabricación.

La arquitectura informática de esta aplicación PIM se basa en un modelo de tres capas:

- Una capa de base de datos con diferentes contenedores con toda la información: bases de datos de información bruta, un almacén de datos para análisis y un almacén de documentos.
- Una capa de lógica empresarial que contiene todas las lógicas PIM accesibles a través de diversas API (interfaces de programación de aplicaciones).
- La capa de interfaz de usuario, que incluye las pantallas y los informes que puede ver el usuario de PIM.

Esta aplicación se considera un punto de partida que permita certificar cada carretera en cuanto a los materiales empleados, a cómo se fabricó y construyó el pavimento, a si se trabajó de acuerdo a la normativa y se cumplieron los requisitos, y generando información de cada proyecto que podrá ser posteriormente analizada para evaluar su rendimiento.

3. Conclusiones

Los cambios que experimenta el sector de la obra pública han cambiado el contexto de los proyectos de las carreteras. La respuesta a los nuevos retos pasa por consolidar la metodología BIM en este sector, que tiene un grado de desarrollo desigual en función de las diferentes etapas de un proyecto.

Una de las mayores limitaciones en la aplicación de la metodología BIM al diseño está vinculada a sus capas más singulares, y es que a pesar de que el impacto económico y ambiental depende mayoritariamente de las capas superiores debido a la incorporación de asfalto como ligante, las aplicaciones BIM tienen un peso muy pequeño en cuanto a la ingeniería aplicada al diseño de firmes, que mayoritariamente se basa en experiencias previas y ensayos mecánicos. En general, las mezclas bituminosas suelen incluirse en los software de trazado como un compendio de propiedades que completan

un PSET. Esto en realidad de por sí ya es una mejora, dado que en la actualidad hay muchas carreteras de las que se desconoce los materiales o granulometría empleados, lo cual tiene un impacto a la hora de tratar de reutilizar dichos materiales, pero dista mucho de todo el potencial que tiene la metodología BIM y que se aplica en otros sectores. La alta variabilidad de áridos, asfaltos y granulometrías dificulta generar una aplicación para el diseño de firmes, hasta la fecha no es viable correlacionar el comportamiento del firme con el tipo de materiales empleados, ya que aunque muchos materiales son análogos y se usan en igualdad de condiciones, sus propiedades físicas varían condicionando el comportamiento final de las mezclas. Esta característica no es visible cuando una carretera se pone en obra, sino que el resultado se manifiesta con los años y condiciona el mantenimiento y el final de la vida útil del firme. Un ejemplo es el propio asfalto, muchos asfaltos se clasifican en un mismo grupo en función de su "dureza" (técnicamente su grado de penetración), pero las diferencias entre ellos hacen, entre otras propiedades, que su temperatura de reblandecimiento difiera generando distintos comportamientos que deben corregirse con los ensayos de diseño. Esta barrera se superaría vinculando los ensayos de diseño para cada tipo de mezcla con una aplicación BIM. Este camino es el que sigue la aplicación PIM desarrollada en los países bajos y que ha sido presentada en este artículo. Si añadimos a esta aplicación la capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, y una caracterización más profunda de las mezclas que vaya más allá de los ensayos normativos, una futura línea de trabajo para generar una aplicación que englobe todas las etapas de una carretera es generar un software capaz de calcular el diseño de mezcla bituminosa más adecuado a partir de los requisitos de las carreteras, y que en función del comportamiento mecánico obtenido sea capaz de estimar su durabilidad, con lo cual abarcaríamos desde la fase de diseño hasta el mantenimiento y el fin de la vida útil del firme. En este línea está trabajando la Federal Highway Administration con el desarrollo del software Flexpave (Wang et al., 2021), que usa una variable genérica que denomina "Daño" para tratar de determinar la durabilidad de un firme durante su etapa de diseño. En la actualidad, aunque se comparan diferentes propiedades mecánicas para garantizar un comportamiento adecuado del firme, no es posible estimar de forma adecuada la durabilidad de una mezcla bituminosa. Este tipo de aplicación, con la que actualmente trabaja la Universidad de Cantabria, aún está en fase de desarrollo y contempla un único tipo de mezcla (el hormigón bituminoso). Este software ya contempla las condiciones climáticas del lugar en el que se extenderá la carretera, si añadimos los datos obtenidos durante la construcción y el mantenimiento dado que las propiedades de la mezcla varían tras su fabricación (envejecimiento a corto plazo) y durante su etapa de uso (envejecimiento a largo plazo), nos acercaríamos a conocer el estado mecánico y funcional durante la vida de la carretera, lo que con el tiempo, junto a los software de trazado y la aplicación PIM ya comentada, nos acercaría a una modelización de la carretera que podría permitirnos estimar su comportamiento y minimizar su impacto ambiental optimizando el diseño y el mantenimiento más adecuado.

Referencias

- BASILICO, A., BOTTA, M., GALLI, G., GARGANI, F., GORI, V., MELFI, L., NAPOLI, M., & STEFANUCCI, S. (2021). *Assessment of the unit costs of capital expenditure for investment projects in road transport*. European Commission, Directorate-General for Regional and Urban Policy. <https://doi.org/doi/10.2776/64471>
- BOSURGI, G., CELAURO, C., PELLEGRINO, O., RUSTICA, N., & GIUSEPPE, S. (2020). "The BIM (Building Information Modeling) Based Approach for Road Pavement Maintenance". In M. Pasetto, M. N. Partl, & G. Tebaldi (Eds.), *5th International Symposium on Asphalt Pavements & Environment* (pp. 480–490). Springer International Publishing.
- BOSURGI, G., PELLEGRINO, O., & SOLLAZZO, G. (2022). "Pavement condition information modelling in an I-BIM environment". *International Journal of Pavement Engineering*, 23(13), 4803–4818. <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1978442>
- CANO-ORTIZ, S., PASCUAL-MUÑOZ, P., & CASTRO-FRESNO, D. (2022). "Machine learning algorithms for monitoring pavement performance". *Automation in Construction*, 139(September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104309>
- CASAS NAGORE, C. (2014). *Conservación por indicadores*. https://www.conservacion.es/Almacen/doc/archivo/20140301_Conservacion_por_Indicadores_Carlos_Casas_Fomento.pdf
- DE LA PEÑA, E. (2020). "Uno de cada diez kilómetros presenta una situación muy deficiente, incompatible con una movilidad segura y verde". *Asociación Española de La Carretera*, 15. http://94.23.80.242/~aec/rueda-prensa-28-7/NP Auditoria estado carreteras AEC 2019-2020_OK.pdf

- AENOR (2020). *Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products*, 83. EN 15804. Madrid
- ERISMANN, C., & PLUME, J. (2021). *IFC 4.3 Implementation and Validation Report*. <https://www.buildingsmart.org/ifc-4-3-infra-and-rail-extension-deployment-production-standard-out-for-vote/>
- GÓMEZ, B. (2022). *How does EAPA help to implement Asphalt 4.0?* <https://eapa.org/asphalt-40/>
- HUURMAN, M., QIU, L., WOLDEKIDAN, M., DEMMINK, E. W., & DE BRUIN, B. (2016). "Low Emission2 Asphalt Pavement (LE2AP)". *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. <https://doi.org/10.14311/EE.2016.399>
- IBRAGIMOV, E., LEE, H. J., LEE, J. J., & KIM, N. (2020). "Automated pavement distress detection using region based convolutional neural networks". *International Journal of Pavement Engineering*, 0(0), 1–12. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1833204>
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2020). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)*, 1. ISO 19650-1.
- KUENZEL, R., TEIZER, J., MUELLER, M., & BLICKLE, A. (2016). "SmartSite: Intelligent and autonomous environments, machinery, and processes to realize smart road construction projects". *Automation in Construction*, 71, 21–33. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2016.03.012>
- LASTRA-GONZÁLEZ, P., LIZASOAIN-ARTEAGA, E., CASTRO-FRESNO, D., & FLINTSCH, G. (2021). "Analysis of replacing virgin bitumen by plastic waste in asphalt concrete mixtures". *International Journal of Pavement Engineering*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1866760>
- LIZASOAIN-ARTEAGA, E., INDACOECHEA-VEGA, I., PASCUAL-MUÑOZ, P., & CASTRO-FRESNO, D. (2019). "Environmental impact assessment of induction-healed asphalt mixtures". *Journal of Cleaner Production*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.223>
- LIZASOAIN-ARTEAGA, E., LASTRA-GONZÁLEZ, P., INDACOECHEA-VEGA, I., & FLINTSCH, G. (2020). "Comprehensive analysis of the environmental impact of electric arc furnace steel slag on asphalt mixtures". *Journal of Cleaner Production*, 275, 123121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123121>
- ORETO, C., BIANCARDO, S. A., ABBONDATI, F., & VEROPALUMBO, R. (2023). "Leveraging Infrastructure BIM for Life-Cycle-Based Sustainable Road Pavement Management". *Materials*, 16(3), 1047. <https://doi.org/10.3390/MA16031047>
- SCHMIDT, B., TETLEY, S., & DALEIDEN, J. (2022). "Intelligent pavement assessment vehicle for structural and functional evaluation of road pavements". *Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*, 242–250. <https://doi.org/10.1201/9781003222897-21>
- SERRANO TOMÁS, S., & DÍEZ DÍEZ, D. (2018). "Maquinaria de construcción de carreteras 4.0". *Carreteras*, 222, 73–76.
- SHOLEVAR, N., GOLROO, A., & ESFAHANI, S. R. (2022). "Machine learning techniques for pavement condition evaluation". *Automation in Construction*, 136(November 2021), 104190. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104190>
- SHRESTHA, S., ASCE, S. M., SAMER, ;, KATICHA, W., FLINTSCH, G. W., ASCE, M., & DIEFENDERFER, B. K. (2021). "Pavement Deterioration Modeling and Network-Level Pavement Management Using Continuous Deflection Measurements". *Journal of Infrastructure Systems*, 27(3), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943)
- SLUER, B., WATER, J. VAN DE, OSCH, E. VAN, ROBROCH, S., BEEMT, R. VAN DEN, BAKKER, A., WALL, A. VAN DE, SCHOTTERT, H., & NOËL, E. (2021). "Pavement Information Modelling (PIM). Dutch contractors develop a lifecycle pavement process and performance information system". *7th Eurasphalt and Eurobitume Congress*, 1–10.
- TANG, F., MA, T., GUAN, Y., & ZHANG, Z. (2020). "Parametric modeling and structure verification of asphalt pavement based on BIM-ABAQUS". *Automation in Construction*, 111. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2019.103066>
- WANG, Y. D., GHANBARI, A., UNDERWOOD, B. S., & KIM, Y. R. (2021). "Development of preliminary transfer functions for performance predictions in FlexPAVE". *Construction and Building Materials*, 266, 121182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121182>

DE LA REALIDAD A LO DIGITAL MEDIANTE LIDAR

Carvalho-García, Sara^a; Garrido-Iglesias, André^b; Cañizares-Sánchez, Alicia^c; Romero-Fernández, José^d y Pérez-Ordóñez, Juan Luis^e

^aMaster BIM, Universidade da Coruña - sara.carvalho@hotmail.com, ^bMaster BIM, Universidade da Coruña - andre.giglesias@udc.es, ^cMaster BIM, Universidade da Coruña - alicia.canizares@global-geosystems.com, ^dMaster BIM, Universidade da Coruña - jose.romero.fernandez@udc.es, ^eDepartamento de Ingeniería Civil, Universidade da Coruña - jlperez@udc.es

Abstract

This paper shows the workflow required to make the As-built model of a building, using 3D survey techniques by LiDAR scanning. The paper shows all the necessary steps, from panning in the data acquisition to the generation of the digital twin. It is highlighted that a detailed study is carried out on the capture (different scanners will be used) and processing of the point cloud to work efficiently according to the information that is necessary for the specific use of the model (facility management, measurements, space management, structural analysis, auditing...) and its development into a modeling tool.

To carry out this work, a practical case of a survey of an already completed construction site (4314m² spread over three floors and one ground floor and a basement) is used by capturing a point cloud. The data acquisition method, the factors to be considered when choosing the appropriate scanning equipment, the use of each equipment, and the results obtained will be explained.

Finally, the different practical applications of this technology and possible future developments will be presented.

Keywords: Scanner, LiDAR, Point Cloud, 3D Model, Methodology, Processing, As-built

Resumen

En este artículo se muestra el flujo de trabajo necesario para realizar el modelo construido de un edificio, también denominado modelo "As-built", empleando técnicas de levantamiento 3D mediante escaneo LiDAR. El artículo muestra todos los pasos necesarios, desde la planificación en la toma de información hasta la generación del gemelo digital. Cabe resaltar que se realiza un estudio pormenorizado sobre la captura (se emplearán distintos escáneres) y el procesamiento de la nube de puntos con el objetivo de trabajar de forma eficiente según la información que sea necesaria para el uso concreto del modelo (mantenimiento, mediciones, gestión de espacios, análisis estructural, auditoria...) y su materialización en una herramienta de modelado.

Para llevar a cabo este trabajo, se emplea un caso práctico de levantamiento de una obra ya realizada (4314m² repartidos en 3 plantas más una planta baja y un sótano) mediante la captura de una nube de puntos. Se explicará el proceso de toma de datos, los factores a tener en cuenta a la hora de elegir el equipo de escaneo idóneo, el modo de empleo de cada equipo y los resultados obtenidos.

Por último, se expondrán las diferentes aplicaciones prácticas que aporta el uso de esta tecnología y sus posibles desarrollos futuros.

Palabras clave: Escáner, LiDAR, Nube de Puntos, Modelo 3D, Metodología, Procesamiento, As-built

Introducción

El empleo de sistemas basados en tecnología láser para captar la realidad se remonta a finales del siglo XX (Boulanger, 1988). Esta tecnología se basa en (i) triangulación calculada mediante el ángulo entre el haz láser y el sensor CCD. Si bien el sistema es capaz de determinar con precisión el objeto a escanear tiene la limitación de la distancia máxima se sitúa en los 2 metros. En contraposición, para capturar puntos a mayores alcances, se emplea tecnología basada en (ii) medir la longitud a la superficie del objeto. Esta última se denomina LiDAR acrónimo de Light Detection And Ranging. Existen dos métodos para obtener los puntos (1) tiempo de vuelo (ToF) que determina la distancia mediante el cálculo entre el tiempo que pasa entre la emisión de un pulso y la detección de la energía reflejada y (2) cambio fase que en este caso la distancia se determina mediante la variación de la modulación del rayo láser emitido y reflejado. Este método es más rápido y preciso que ToF pero tiene un menor alcance. (Barber, 2002; Rashdi 2022). Las primeras aplicaciones de esta tecnología se emplearon para realizar modelos de elevación del terreno mediante el uso de vehículos aéreos (Axelsson, 1999; Shrestha, 1999). Posteriores investigaciones consiguen generar, de manera automática, la volumetría de los edificios a nivel de manzana (Rottensteiner, 2003). De igual manera, el empleo del láser a nivel del terreno es una práctica contemporánea a la aérea (Wang, 2013) que se sigue empleando hoy en día. Incluso se pretende emplear una generación de modelo de manera automática o semiautomática (Tang, 2010), pero dado la dificultad que entraña el proceso (segmentar la información en objetos, identificarlos y generarlos), el proceso de crear un modelo BIM As-built sigue siendo manual (Rocha, 2020). En este artículo se muestra los pasos necesarios para obtener el modelo mediante el empleo de nubes de puntos.

Objetivos

El objetivo principal que se ha alcanzado en este artículo ha sido la identificación de los pasos necesarios para realizar el modelado “As-built” de un edificio. Este objetivo se subdivide en 3 subobjetivos. 1) Planificar el escaneo 3D, de forma que se optimice el tiempo necesario para la toma de datos. 2) Procesar y filtrar la nube de puntos, para poder trabajar de forma eficiente según la información que se precise, y para finalizar 3) Obtener el resultado final mediante una herramienta de modelado.

Para validar cada uno de los pasos mostrados en el flujo de trabajo mostrado en los objetivos se empleará un caso práctico. En este caso se realiza el levantamiento del Edificio del Área Científica de la Universidad de Coruña. El edificio tiene una superficie construida de 4314 m², repartida en 3 plantas + bajo + sótano destinado a garajes, en el que alberga despachos, aulas, laboratorios y salas polivalentes para dar servicio a las necesidades de espacios de la Facultad de Informática y la Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos (Portela, 2014).

Los equipos empleados para el escaneado han sido dos dispositivos láser estáticos: Leica BLK360 y Leica RTC360. Para el procesado, filtrado y modelado un ordenador portátil de 16GB de RAM, con un procesador Intel(R) Core (TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz, y una tarjeta gráfica Nvidia GeForce GTX 960M.

1. Flujo de trabajo

El flujo de trabajo llevado a cabo, como se puede ver en la Fig. 1, se divide en 3 fases. A lo largo de este apartado se detalla cada fase.

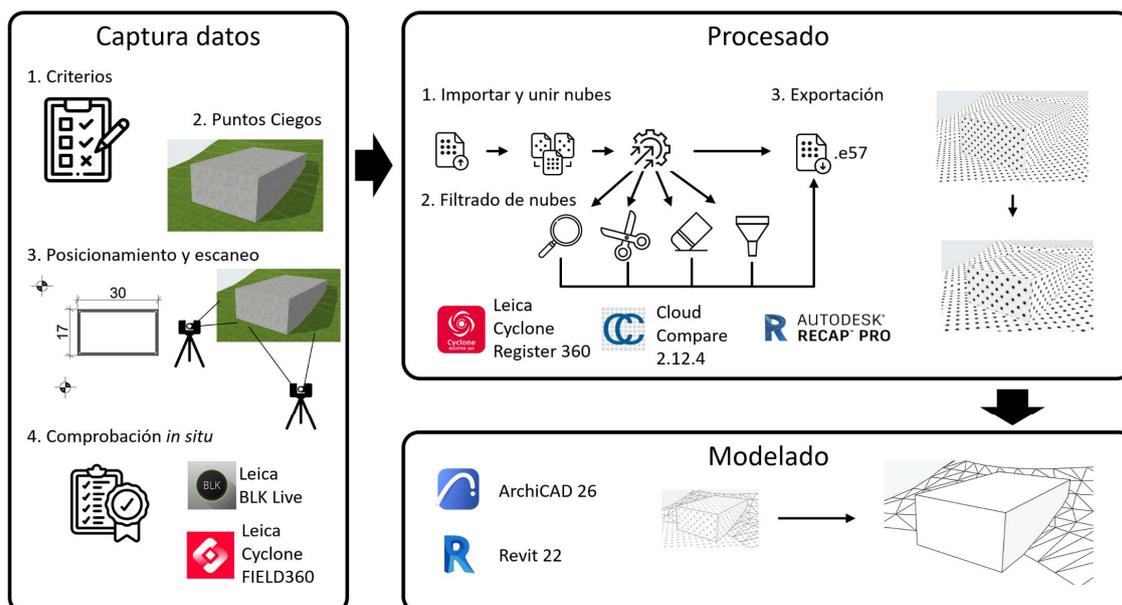


Fig. 1. Flujo de trabajo empleado

Captura de datos

Equipos, características y su elección

El escáner Leica BLK360-G1 tiene un campo de visión de 360° en horizontal y 270° en vertical, un alcance mínimo de 0,60 m hasta 60 m, y una velocidad de medición de hasta 360.000 puntos por segundo. Por otro lado, el escáner RTC360 tiene un campo de visión de 360° en horizontal y 300° en vertical, un alcance mínimo de 0,50 m hasta 130 m, y una velocidad de medición de hasta 2 millones puntos por segundo. En la Tabla 1 se muestra los tiempos de escaneo en función de la densidad de puntos. Los equipos están diseñados tanto para el uso en interiores como al aire libre, cuentan con un sistema integrado de obtención de imágenes esféricas HDR, tecnología Visual Inertial System (VIS) para el registro previo en tiempo real, y ambos dispositivos pueden manejarse a través de la App BLK Live para smartphones o la App Leica Cyclone FIELD360 para Tablet o smartphones. La tabla 2 muestra la relación de precisión y distancia para cada dispositivo.

Tabla 1. Configuración de los escáneres Leica BLK360 y RTC360

	Modo de densidad de puntos	Duración estimada de escaneo (Solo puntos)	Duración estimada de escaneo (Puntos + Imágenes)	Tamaño aproximado de escaneo (Millones de puntos)
BLK 360	Rápida	00:40 min	02:20 min	3 millones
	Estándar	01:50 min	03:30 min	18 millones
	Alta densidad	03:40 min	05:20 min	65 millones
RTC 360	Rápida	00:26 min	01:26 min	3 millones
	Estándar	00:51 min	01:51 min	18 millones
	Alta densidad	01:42 min	02:42 min	65 millones

Tabla 2. Precisión del escáner Leica BLK360 y RTC360

	Precisión	Distancia
BLK360	4 mm	10 m
	7 mm	20 m
RTC360	1,9 mm	10 m
	2,9 mm	20 m
	5,3 mm	40 m

Un criterio en la elección del dispositivo es el tiempo ya que si se prevé la realización de muchos escaneos este puede ser un factor relevante. La precisión es otro de los factores importantes, ya que, si los espacios son muy grandes, o edificios con mucha altura o longitud, condicionará el número de escaneos. Otro factor es el coste de cada equipo, por lo que debe mantenerse un equilibrio entre precisión, tiempo y coste del alquiler.

Criterio de los escaneos

En el escaneado exterior se debe tener en cuenta las condiciones climáticas y el tráfico de personas y vehículos, ya que estos generarán ruido en la nube.

En el interior se debe tener en cuenta el mobiliario, las carpinterías, los usuarios y el clima exterior.

Mobiliario: la presencia de mobiliario puede generar puntos ciegos en los escaneos, lo que conlleva realizar más estacionamientos para poder obtener la geometría de la estancia sin sombras.

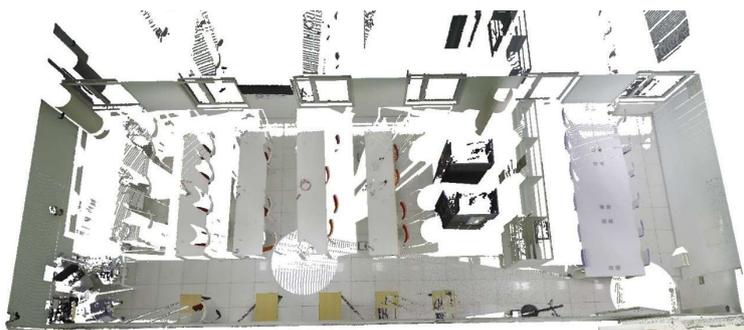


Fig. 2. Necesidad de varios estacionamientos en la sala por puntos ciegos

Carpinterías exteriores: la presencia de ventanas puede distorsionar la toma de datos, pues el escáner no lo detecta como un paramento opaco y recoge datos del exterior generando lo que se puede definir como "ruido".



Fig. 3. Nube de puntos de un espacio con paños acristalados y el "Ruido".

Carpinterías interiores: las puertas de acceso a diferentes espacios deberán permanecer abiertas, y preferiblemente en la misma posición, durante todo el proceso de escaneo. Mantener las puertas de paso completamente abiertas impedirá que se produzcan pérdidas de datos y zonas de sombras durante el escaneo.

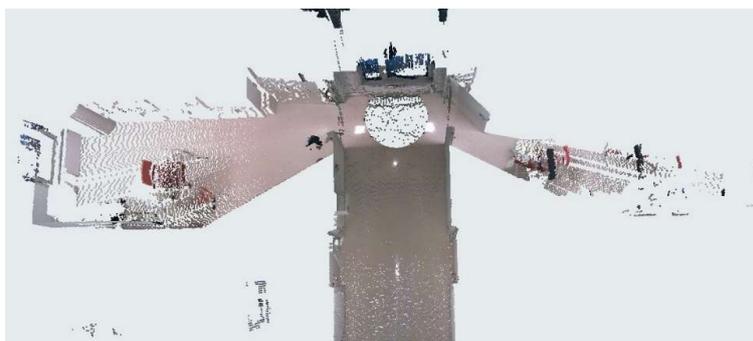


Fig. 4. Zonas de sombras generadas por las carpinterías interiores

Clima exterior: si es un día muy soleado, con la luz del sol incidiendo por las ventanas, también pueden producir zonas de sombras en los lugares en los que incida la luz del sol directamente.

Objetos en movimiento: es importante no mover elementos de mobiliario o carpinterías durante el escaneo, pues pueden generarse errores de interpretación al obtener una nube con puntos repetidos o descolocados. También se debe tener en cuenta dónde se ubicará el técnico que accione el aparato mientras se realice el escaneo. La tecnología de doble escaneo que elimina automáticamente los objetos en movimiento en cada toma de datos resuelve esta cuestión.

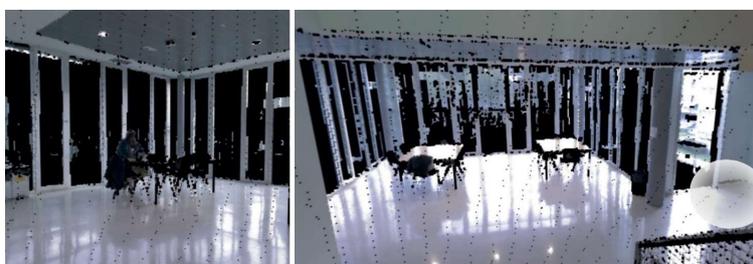


Fig. 5. Estacionamiento 29 y 31

Correlación visual entre estacionamientos: Es muy común que se produzcan errores de solape o alineación durante el escaneo (Sánchez, 2013). Para tratar de minimizar estos errores se deber de colocar el equipo de tal forma que entre los diferentes puntos donde se realice el estacionamiento mantenga una línea visual. También es importante realizar estacionamientos delante y detrás de cada puerta y al inicio o final de cada pasillo. De igual manera, al inicio y final de las escaleras y en los rellanos o cambios de dirección. Actualmente los equipos empiezan a disponer de un sensor VIS (Visual Inertial System) que permite combinar in situ de forma automática los escaneos.

Análisis del objeto de estudio: Puntos ciegos y Sombras

La parte más importante del escaneo es la preparación y con ello el estudio del edificio a escanear. Si bien no siempre se conoce la totalidad del edificio, es importante tener una ligera idea de lo que va a haber y, de no ser posible, guardar un tiempo de planificación previo al inicio del escaneo y llevar a cabo un estudio del edificio objeto, analizando los posibles puntos ciegos y sombras en función de la información que se necesite recabar y de acuerdo con la finalidad de la nube de puntos.

Se debe tener especial cuidado a la hora de no generar puntos ciegos o sombras. En cada estacionamiento deben comprobarse los elementos que se interpongan entre el escáner y la superficie a escanear, ya que estos van a generar una zona de sombras.

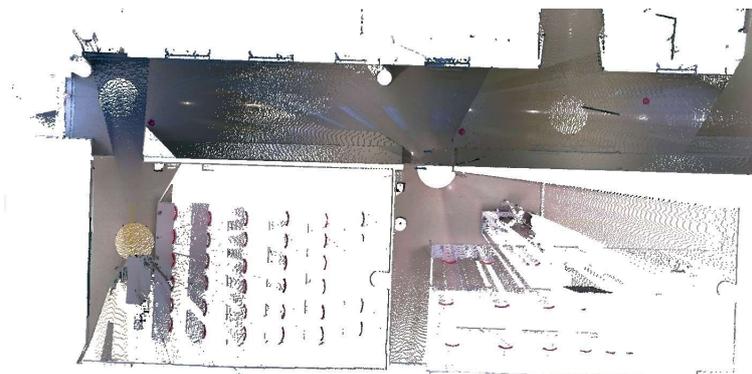


Fig. 6. Ejemplo de zonas de sombras

Como se puede observar en la Fig. 6 la captura de los espacios produce sombras, apreciable en los espacios de detrás de la puerta. En el escaneo del aula, el mobiliario de mesas y sillas obstaculizan la toma de datos, dejando una gran zona en sombra. Para resolver este problema, se pueden tener las zonas despejadas para el escaneo o realizar un mayor número de estacionamientos en la zona.

Como resumen, se debe tener en cuenta:

Escaneos en el interior del edificio:

- Posición del mobiliario.
- Posición de los elementos estructurales.
- Composición constructiva (Paños ciegos vs de vidrio).
- Espacios a doble altura y núcleos verticales de comunicación.
- Iluminación interior.

Escaneos en el exterior del edificio:

- Mobiliario urbano.
- Presencia de vehículos o peatones y su frecuencia de tránsito.
- Dimensión del edificio.
- Topografía.
- Condiciones climáticas.

Es importante tener en cuenta las condiciones climáticas, sobre todo en escaneos en exterior, ya que un día demasiado soleado podría saturar las imágenes que después aplican el color del pixel al punto de la nube o en caso de lluvia distorsionar la posición de los mismos.

Posicionamiento de las estaciones

En base a las necesidades y objetivos del levantamiento, junto con los condicionantes del edificio, se elegirá un número y posición de estacionamientos, con los que poder prever tiempos de escaneado, zonas de difícil enlace, puntos singulares, sombras, etc. Esto irá directamente ligado al equipo que se elija, dependiendo de los siguientes factores:

- Tiempo aproximado para realizar cada estacionamiento, la toma de datos y el cambio de estación.
- Densidad de puntos requerida en base a la finalidad de la nube.
- Alcance de los equipos.
- Complejidad geométrica del edificio.

Es importante realizar una estimación de tiempo del escaneado. Puede variar en función de la densidad de puntos en la que se configure el aparato, el alcance del equipo y la complejidad del edificio para evitar zonas con puntos ciegos. También es importante el tiempo de cambio de baterías, así como el tiempo en reinicio de los equipos en momentos en los que una batería empieza a fallar, teniendo en cuenta que al menos un 10% del tiempo debe guardarse para imprevistos.

En esta ocasión, debido a la geometría del interior del edificio, y al tiempo disponible para realizar el escaneo, se optó por utilizar la RTC360 en el interior, lo que permitiría utilizar al sistema VIS y dedicar a cada estacionamiento menos tiempo, y el BLK360 en el exterior, pues debido al objetivo de levantamiento de la fachada del edificio y no de su entorno, era suficiente. Para la toma de datos la densidad elegida fue estándar.

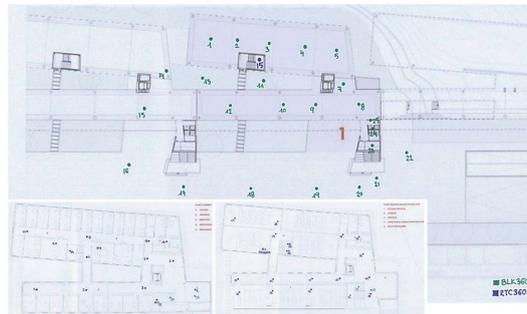


Fig. 7. Estacionamientos planta baja, primera y segunda

Comprobación in situ de la nube de puntos

Una de las grandes ventajas de trabajar con estos equipos es la posibilidad de realizar comprobaciones de cada estacionamiento y preparar y comprobar los enlaces entre estaciones. Tanto el BLK360 como el RTC360 disponen de una aplicación para smartphone o Tablet que permiten mantener un control remoto del escáner y visualizar la nube de puntos in situ, pudiendo realizar modificaciones y correcciones.



Fig. 8. Ejemplo de corrección de la alineación de estacionamientos

Durante el proceso de escaneo es importante comprobar que todos los datos recogidos estén bien alineados, puede darse el caso de que algún estacionamiento se gire o se desplace en planta, o que no se posicione correctamente en altura.

Cuando se llevó a cabo el escaneo del edificio, utilizando el equipo RTC360, se produjeron varios fallos de alineación entre estacionamientos en los núcleos de escaleras, que se revisaron y corrigieron "in situ", pero que ralentizaron la toma de datos. Estos estacionamientos no se alineaban correctamente en altura, por lo que fue necesario realizar más escaneos en los descansillos de las escaleras y corregir la alineación en altura utilizando la App.

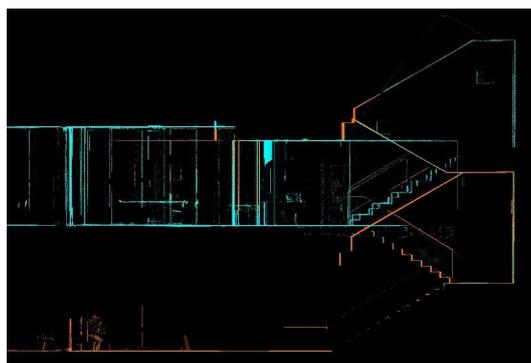


Fig. 9. Corrección de la alineación en los núcleos de escaleras.

Procesado

Al terminar de escanear el objeto de estudio, se exportarán los datos obtenidos para tratarlos con distintos softwares específicos para el tratamiento de nubes de puntos. Entre otras cuestiones, se podrán corregir errores, escoger en que formato exportar la nube o si exportar cada estacionamiento por separado o todos unidos generando una única nube de puntos global.

Se deberá tener en cuenta el peso del archivo ya que, al tratarse de un edificio tan grande, y con un escaneo con tanta resolución, si se trata de trabajar con todos los estacionamientos unidos es muy probable que el equipo no soporte ese archivo o no permita trabajar de forma fluida.

Leica Cyclone Register 360

Leica Cyclone Register 360 es un software para el registro y procesamiento de nubes de puntos que permite importar y trabajar con los datos obtenidos de los escaneos y funciona de forma muy similar a las aplicaciones BLK Live o Cyclone FIELD360.

En este caso, se importarán en el programa las nubes creadas durante los escaneos realizados con ambos equipos, para poder revisar y corregir alineaciones, y unir todos los datos en una única nube de puntos.

Al importar los archivos de datos el programa genera dos conjuntos separados que engloban los estacionamientos realizados con cada equipo, y muestra algunos datos generales de los distintos escaneos.

Tabla 2. Resultados del escaneo para el edificio objeto

	N.º de Conjuntos	N.º de Escaneos	N.º de Enlaces	N.º de Puntos
RTC 360	1	35	36	322.521.667
BLK 360	1	50	54	57.851.741

Se puede apreciar la diferencia de número de puntos recogidos entre el equipo RTC360 y el BLK360, estando programados en un modo de densidad de puntos estándar y realizando más estacionamientos con el equipo BLK360.

Una vez importados los archivos, se empezará a revisar que todo esté alineado y enlazado correctamente, realizando los ajustes necesarios visualizando las nubes de puntos tanto en 3D como en planta o alzado, lo que facilita la detección de errores.

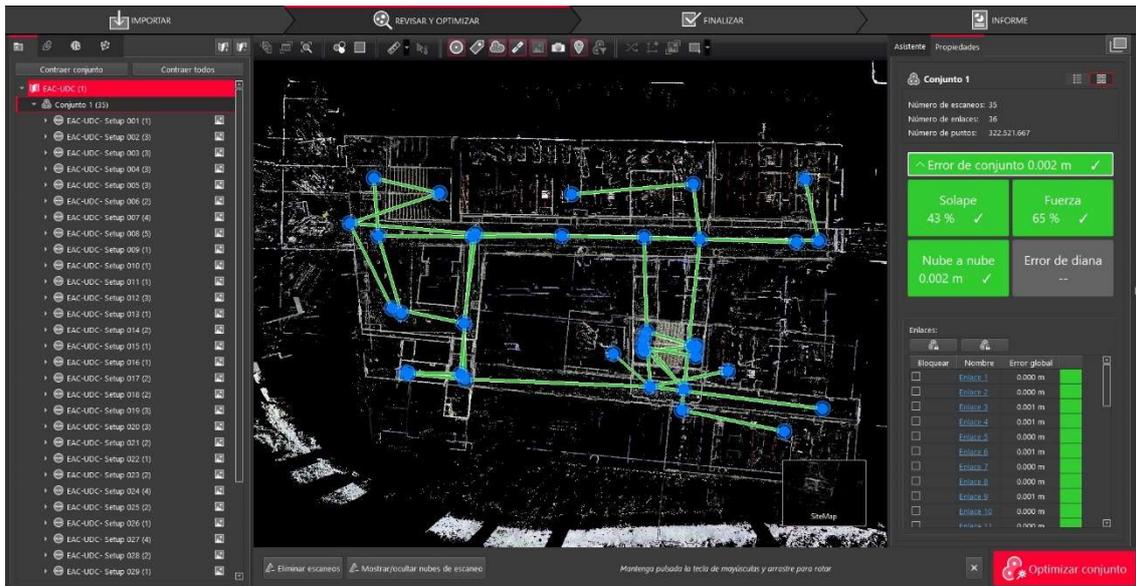


Fig. 10. Optimización del conjunto. Cyclone Register 360

Una vez revisados los enlaces de los distintos estacionamientos se optimizará el conjunto para proceder al siguiente paso. En la última pestaña de trabajo se seleccionarán las diferentes opciones de exportación que nos aporta el programa, generando un informe del proyecto, y seleccionando el formato de exportación de la nube.

En esta ocasión, se decidió exportar la nube de puntos en archivos separados por estacionamientos en formato .e57, debido a que el peso del archivo de la nube de puntos con todos los estacionamientos unidos no permitiría trabajar de forma fluida. Otra alternativa válida sería exportarlos por zonas o por plantas, dependiendo de la configuración del edificio y de cada caso.

Cloud Compare

Cloud Compare es un software libre de procesamiento de mallas y nubes de puntos 3D. Para este caso se utilizará el programa para realizar recortes en la nube de puntos, lo que permite:

1. Eliminar las zonas de “ruido” que no se necesitan en la nube, aligerando el peso del archivo.

Para proceder a ello, resulta muy operativo colocar la visualización de la nube en planta y trazar un marco con una polilínea señalizando el área de puntos a eliminar. Una vez ejecutada esta herramienta, el programa no elimina lo anterior, genera una copia con los cambios realizados, lo que permite trabajar sobre una misma nube realizando cambios o recortes sin perder la información inicial.

2. Realizar cortes seccionados de diferentes partes de la nube que faciliten el modelado posterior del edificio.

Esta herramienta resulta útil para simplificar la nube de puntos, centrándose únicamente en una parte que se necesite, en este caso, el perímetro de la sala para poder realizar el levantamiento posterior de la envolvente.

3. Reducir la densidad de puntos de la nube.

La herramienta *Subsample*, permite modificar la densidad de puntos, lo que facilita trabajar de forma más fluida con la nube de puntos generada y reducir el peso de los archivos que se extraigan a costa de reducir el detalle, ya que se reduce el número de puntos.

Pueden utilizarse dos métodos: Con el método *Space*, que elegirá la distancia a la que queramos que se dispongan los puntos entre sí, eliminando los puntos que queden en medio, o el método *Octree*, que se utiliza para dividir un espacio tridimensional en distintos octantes.

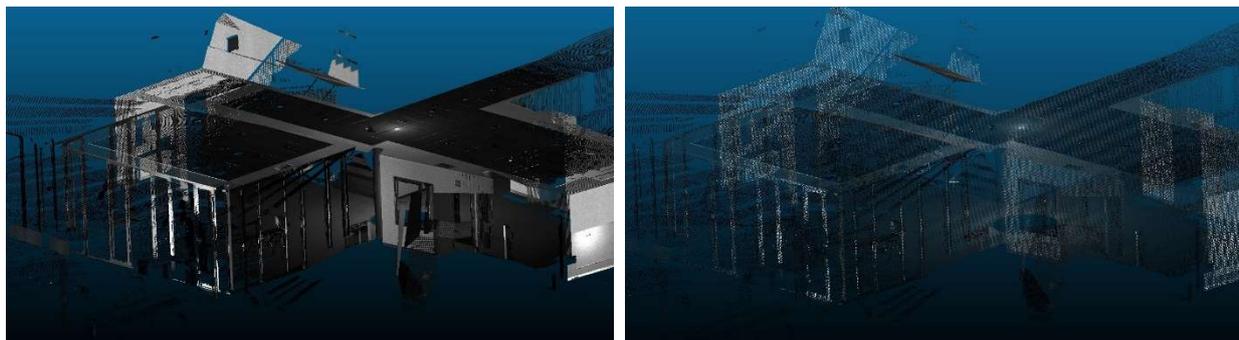


Figura 47: Nube de puntos sin modificar la densidad de puntos (izquierda) y después de la operación de reducción de la densidad de puntos. Cloud Compare

4. Unificar nubes de puntos: Por último, se utilizará este programa para unificar las nubes de puntos extraídas de Cyclone Register 360, según las necesidades.

Utilizando como ejemplo las nubes de puntos creadas por los escaneos realizados en el exterior del edificio, se unificarán las nubes para exportar un único archivo.e57 que contenga toda la envolvente exterior del edificio.

Al haber realizado los escaneos enlazando los distintos estacionamientos entre sí, tanto in situ como posteriormente, cuando se procesa la nube con el programa Cyclone Register 360, cada nube individual está referenciada con coordenadas relativas, y al introducirla en un software, por ejemplo, Cloud Compare la posiciona en su ubicación correcta y no es necesario volver a alinearla.

Una vez insertadas las nubes que se desean utilizar en el programa de Cloud Compare, únicamente es necesario seleccionarlas y guardarlas el archivo con el formato necesario.

Autodesk ReCap

Autodesk ReCap es un programa utilizado para importar escaneos 3D y transformarlos en un modelo digital. Permite trabajar con las nubes de puntos y crear mallas 3D con textura a partir de ellas. Para este caso se importará una selección de las nubes de puntos obtenidas de los diferentes escaneos para mostrar cómo trabaja el programa, de que herramientas dispone y los resultados obtenidos.

Una vez importadas las nubes, se crean conjuntos alineados, uniendo las nubes en un único modelo. Para ello, se marcan tres puntos que tengan en común los sucesivos estacionamientos.

Posteriormente, se puede visualizar el resultado tanto como un modelo 3D de la nube de puntos como en "RealView", un 3D renderizado de la nube.

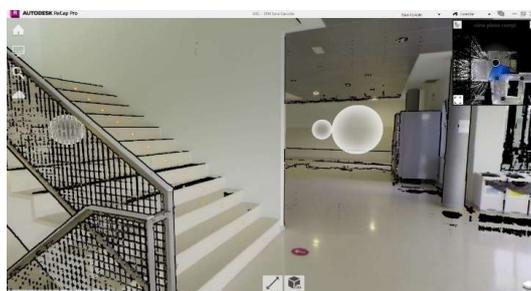


Fig. 11. Visualización renderizada de la nube de puntos. Autodesk ReCap

Al igual que con los programas anteriores, también se pueden realizar modificaciones como recortes en la nube de puntos o mediciones.

Los tres programas utilizados en este trabajo para el procesado de nubes de puntos permiten exportar la nube en diferentes formatos, como pueden ser .e57, .xyz, .pts, .las, .rcp. Esto permitirá continuar el flujo de trabajo en los programas de modelado 3D.

Modelado

Dado que se escaneó tanto el exterior como el interior del edificio, se podría realizar un levantamiento del estado actual con gran precisión, modelar alguno de los espacios en particular como base para realizar alguna reforma o realizar un paseo virtual por la edificación.

En este caso se llevará a cabo un modelado genérico de la envolvente del edificio para mostrar el flujo de trabajo, y para ello se emplearán las nubes separadas por estacionamientos que se han procesado previamente.

Importación de la Nube de Puntos en un software BIM

Al insertar las nubes de puntos en un software de modelado, en el caso de ejemplo ArchiCAD, se incorpora la nube como un objeto y se crea un archivo LCF por cada nube importada. Cada objeto se añade a la biblioteca vinculada del archivo.

Para una correcta identificación posterior resulta vital la apropiada definición del nombre de cada nube de puntos.

Se debe establecer el piso de origen dónde se dispone la nube, y habilitar, si es el caso, la colocación automática en las coordenadas de origen del proyecto. En caso contrario se debe proporcionar las coordenadas manualmente.

El software empleado de modelado, en este caso la versión 26 de ArchiCAD, permite generar un árbol de carpetas que facilita englobar las capas de cada nube y separarlas por espacios.

Modelado 3D a partir de la Nube de Puntos

A la hora de comenzar a modelar, es importante controlar el rango de visión en planta en el que se trabaje, pues dependiendo del objeto a modelar se precisará que se muestren u oculten determinados elementos. Este proceso se puede realizar, en función del software empleado, o bien mediante las definiciones de corte de planta o sobrescribiendo el rango de vista en planta dentro de las definiciones de selección de objetos.

Para realizar el modelado de la envolvente del edificio se comienza por crear los pilares, forjados y muros de cierre en planta baja. A continuación, se va haciendo el mismo proceso en las plantas superiores para lo cual se debe modificar el rango de visión ajustándolo a cada planta correspondiente.

Por último, para validar el correcto modelado se emplean alzados, secciones y vistas en 3D en el que se verifica que los objetos se ajustan correctamente a la nube de puntos.

En la Fig. 12 se muestra una fotografía del edificio real, la nube de puntos obtenida, la nube de puntos superpuesta sobre el modelo y finalmente el modelo resultante.



Fig. 12. Modelo resultante.

2. Resultados

Se ha empleado el scanner BLK360 para el exterior y la tercera planta del edificio (50 estacionamientos), y el scanner RTC360 para la planta primera y segunda (35 estacionamientos), de forma simultánea, durante un tiempo aproximado de 4 horas.

Tras aplicar el método de trabajo desarrollado se obtienen los siguientes resultados:

En la Tabla 3 se muestra las características de las nubes de puntos obtenidas. Dependiendo del escáner empleado, se consigue nubes más o menos densas, lo que nos influye a la hora de trabajar con la nube.

Tabla 3. Características del procesamiento de datos mediante Cyclone Register 360

	Número de Conjuntos	Número de Escaneos	Número de Enlaces	Número de Puntos
RTC360	1	35	36	322.521.667
BLK360	1	50	54	57.851.741

Otro estudio realizado ha consistido en determinar el tiempo de procesado según el tamaño del archivo. Para ello se ha utilizado el programa de Cloud Compare empleando los escaneos realizados en el exterior del edificio (25 estacionamientos). En la Tabla 4 se muestra los resultados de unir y exportar, a un único archivo .e57, los 25 escaneos con o sin procesado). El procesado ha consistido en emplear la herramienta **subsample** y el método **OcTree** con una subdivisión de niveles de 9.

Tabla 4. Resultados de la exportación mediante Cloud Compare

	Tamaño kB	Tiempo exportación
Nube de puntos original	1.854.355	09' 46"
Nube de puntos procesada	30.836	02"

Cabe resaltar que, tanto Revit como ArchiCAD vinculan la nube de puntos dentro del archivo de proyecto, por lo que, aunque éste no aumente significativamente de tamaño al insertar las nubes, la fluidez del software se ve comprometida si no se tratan teniendo en cuenta el equipo informático con el que se va a trabajar.

3. Conclusiones

Tras la realización de este estudio se concluye que el empleo de nubes de puntos, aunque a priori parece que es una herramienta accesible y fácil, es necesario disponer de conocimientos previos para su correcto uso. No consiste en un proceso complicado, pero a menudo es desconocido en el sector AECO (Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones) y no se llegan a valorar por los técnicos las oportunidades que generan el uso de esta tecnología.

Dedicar tiempo para el preprocesado *in situ* de la nube de puntos, mediante las aplicaciones de Leica Cyclone FIELD360 y BLK Live, reduce considerablemente el trabajo posterior de los datos ya que es menor y más sencillo.

Es fundamental definir los objetivos a alcanzar a la hora de seleccionar un equipo de escaneo, pues cada tipo de escáner ofrece unas características y resultados distintos. El plan de escaneo se debe adaptar al equipo seleccionado (distancias máximas, densidad de puntos...) y la finalidad definida (obtener volumetría de una estancia, un edificio, una manzana...)

Es muy importante tener en cuenta la geometría y distribución del edificio o estancia que se escanea, para evitar dejar zonas en sombra que impidan la recopilación completa del espacio. De igual modo es fundamental estimar el tiempo que se necesita para realizar el trabajo de campo y de posterior procesado de la información, puesto que el coste del alquiler de equipos y softwares son significativos.

La estrategia en el procesado de la nube de puntos (segmentación, unión, filtrado...) depende en gran medida de la magnitud del escaneo y de los recursos informáticos que se disponga. Asimismo, es necesario remarcar la importancia de la estructuración y metodología de trabajo a la hora de insertar las nubes en un software de modelado.

Este artículo muestra la potencia del empleo del uso de nubes de puntos en flujo de trabajo para modelar edificios existentes. Centrándose únicamente en los escaneos exteriores se pudo generar la geometría del edificio pudiendo verificar la correcta disposición de los elementos de las fachadas.

4. Agradecimientos

Este trabajo contó con el apoyo parcial del Ministerio de Ciencia e Innovación, NextGeneration (Ref: PDC2021-121660-I00 PREHEALING). De igual modo agradecer a la dirección de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos el acceso al edificio de estudio y por último agradecer a Global Geosystems la cesión de los equipos de escaneo.

Referencias

- AXELSSON, P (1999). "Processing of laser scanner data—algorithms and applications" en *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol 54, issue 2-3, 138-147
- BARBER, D., MILLS, D.J., & BRYAN, P. (2002). "Laser scanning and photogrammetry: 21 century metrology". En *XVIII CIPA Symposium*. Alemania disponible en <<https://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/5-C7/pdf/2001-08-db01.pdf>> [Consulta: 24 de febrero de 2023]
- BOULANGER P., RIOUX M., TAYLOR J., LIVINGSTONE F. (1988). "Automatic replication and recording of museum artefacts" en 12th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, 131–147.
- PORTELA FERNANDEZ-JARDÓN, C. y PADRÓN CONDE C. (2011). *Edificio Área Científica del Parque Tecnológico*. ArchDaily en Español. ISSN 0719-8914 <<https://www.archdaily.cl/cl/02-122828/edificio-area-cientifica-del-parque-tecnologico-cesar-portela-fernandez-jardon-cesareo-padron-conde>> [Consulta: 9 de febrero de 2023]

RASHDI, R., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J., ARIAS, P., QIU, Z. (2022). "Scanning Technologies to Building Information Modelling: A Review" en *Infrastructures*, vol 7, Issue 4, 49

ROCHA G, MATEUS L, FERNÁNDEZ J, FERREIRA V. (2020) "A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings" en *Heritage*, Vol 3, Issue 1, 47-67

ROTTENSTEINER, F. (2003). "Automatic generation of high-quality building models from lidar data" en *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 23, issue 6, 42-50

SÁNCHEZ, M. A., ZAPATA, H. (2013). "Metodología para la toma de datos y levantamiento con láser escáner el caso de la Cripta de Gaudí en la Colonia Güell" en *Actas del Primer Congreso Internacional de Buenas Prácticas en Patrimonio Mundial / coord. por Alicia Castillo Mena*, ISBN 978-84-941030-9-4, 361-373

SHRESTHA, R. L., CARTER, W. E., LEE, M., FINER, P., & SARTORI, M. (1999). "Airborne laser swath mapping: Accuracy assessment for surveying and mapping applications" en *Surveying and Land Information Systems*, vol 59, issue 2, 83-94.

TANG, P., HUBER, D., AKINCI, B., LIPMAN, R., LYTLE, A. (2010) "Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques" en *Automation in Construction*, vol 19, Issue 7, 829-843

WANG, R. (2013) "3D building modeling using images and LiDAR: a review" en *International Journal of Image and Data Fusion*, vol 4, 273-292,



POWER BI COMO HERRAMIENTA GRATUITA PARA PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN DE MODELOS BIM

Moret-Colomer, Salvador

Arquitecto – E.T.S. de Arquitectura, UPV València, España.

Abstract

BIM concerns the entire construction sector, but how many are technical? How many should obtain information, data, tables, occupancy ratios from our projects? The number of non-BIM profiles that are related to our work is very large: from sales representatives to managers, including end customers or investors; all of them are more driven by numbers and, of course, they are not going to learn any modeler to evaluate our proposals. What would happen if they had at their fingertips a visual, interactive and updateable tool that showed them the data they wanted so that they could filter, order and expose it? What if, in addition, they could relate these data with part of the graphic information of our models? Without having to pay any subscription, I want to tell you how to link a BIM model with Power BI, and make a simple panel... but one that serves to open your horizon. Remember that in Power BI, the I is not information: it is intelligence.

Keywords: power BI, graphic, information, collaboration, Revit.

Resumen

BIM atañe a todo el sector de la construcción, pero ¿cuántos son técnicos? ¿Cuántos deben obtener información, datos, tablas, ratios de ocupación a partir de nuestros proyectos? El número de perfiles no-BIM que están relacionados con nuestro trabajo es muy grande: desde comerciales hasta directivos, pasando por clientes finales o inversores; todos ellos se mueven más por los números y, desde luego, no van a aprender ningún modelador para evaluar nuestras propuestas. ¿Qué pasaría si tuvieran al alcance de la mano una herramienta visual, interactiva y actualizable que les mostrase los datos que desean para que sean ellos quienes los filtren, los ordenen y los expongan? ¿y si, además, pudieran relacionar esos datos con parte de la información gráfica de nuestros modelos? Sin necesidad de pagar ninguna suscripción, quiero contarte cómo vincular un modelo BIM con Power BI, y hacer un panel sencillo... pero que sirva para abrir tu horizonte. Recuerda que en Power BI, la I no es información: es inteligencia.

Palabras clave: power BI, gráfico, información, colaboración, Revit.

Introducción y estado del arte

BIM son datos

Un modelo BIM es un modelo de datos que se representan habitualmente en formato 3D o, incluso, 2D.

Sin embargo, hay momentos en los que debemos recurrir a tablas o listas para mostrar esta información. Un ejemplo de ello pueden ser los Cuadros de superficies útiles, donde se muestran no solo las habitaciones con sus áreas, sino, incluso, la vivienda a la que pertenecen, el nivel en el que están o incluso el coeficiente de computabilidad de cara a la ocupación total del edificio.

Revisar y entender conjuntos de datos es una tarea absorbente que requiere toda la atención. Por eso, la interfaz gráfica de los programas BIM ayuda mucho. De hecho, todos los programas de autoría BIM incluyen herramientas o procesos que ayudan a representar gráfica y comparativamente la información.

Comprender la potencia de la visualización de datos

Al mostrar los datos como gráficos, se obtienen dos grandes beneficios.

- Por un lado, una comprensión mucho mayor de los datos; resulta más fácil entender la gráfica de la evolución de una moneda en bolsa que estar leyendo cada uno de los valores y detectar las caídas y la tendencia.
- Por otro lado, la habilidad de combinar datos de diferentes fuentes, de vincularlos y de transformarlos, llegando a conclusiones mucho más profundas que simplemente cotejando los datos iniciales, o localizando patrones complejos que de otra forma escaparían a nuestra comprensión.

Los patrones son secuencias de sucesos que van relacionados. En el contexto de un videojuego, un jugador detecta que cuando el jefe final recibe tres golpes, activa su poder especial. En el mundo de la bolsa, un análisis histórico permite relacionar la inflación y el endeudamiento con momentos de crisis o bonanza. Son ejemplos de patrones que ayudan a comprender el entorno y a anticiparse a los sucesos.

Estos patrones se pueden aplicar al ámbito empresarial, para saber cuándo es el mejor momento para lanzar un libro o qué acciones estratégicas tienen más repercusión.

Métodos de visualización y filtrado de datos en BIM

Los programas BIM de modelado tienen la capacidad de mostrar y organizar los datos para que sean más comprensibles y accesibles. Algunos ejemplos de ello son:

- Esquemas de color para habitaciones, áreas o zonas de climatización: se colorea la superficie según un parámetro. Por ejemplo, a qué vivienda pertenece cada espacio o habitación.
- Filtros: aplican una característica visual a un subconjunto de una categoría, en base a uno o varios baremos.
- Análisis de desconexiones.

Sin embargo, todos los programas de autoría BIM tienen ciertas limitaciones en esto. Para salvar esta barrera se pueden instalar extensiones, complementos o addins que, ya sean gratuitos o de pago, permitan aumentar las capacidades del software nativo en un aspecto concreto. En el caso de Revit, plugins como DiRoots ayudan a gestionar, modificar y sincronizar datos en Excel de forma más amigable y potente de lo que sería posible dentro de Revit. Otros, como ColorSplash, explotan al máximo la aplicación de colores.

Sin embargo, todos estos complementos están enmarcados dentro del software BIM. No es un flujo abierto, no se pueden estudiar esos datos de forma externa e independiente, y van ligados a un conocimiento más o menos profundo de cada herramienta. Porque, para gestionar y representar datos gráficamente, se necesita una herramienta especializada. Y una de esas herramientas es Power BI.

Condiciones de partida

El objetivo es establecer un flujo de trabajo entre Revit y Power BI sin utilizar ninguna herramienta adicional de pago. Se utilizará únicamente Revit Viewer, como visor gratuito para lanzar el script de Dynamo, y Power BI Desktop, también gratuito.

Sin embargo, no existe hoy un proceso libre y gratuito que permita exportar información 2D vectorial de las plantas para su visualización en Power BI. La aproximación más cercana es la web de Synoptic Designer que, a partir de una imagen PNG exportada de una planta del modelo BIM, ofrece la posibilidad de dibujar manualmente contornos (habitaciones) y nombrarlos (por ejemplo, con el ID) para guardar el resultado en el formato abierto SVG (gráficos vectoriales escalables, por sus siglas en inglés) y después importar esta información en Power BI.

Otros motores de suscripción, como Tracer o VCAD, ofrecen soluciones más avanzadas a cambio de una suscripción; pero no se corresponden con el objeto de este estudio de desarrollar un método libre para vincular la información.

Por tanto, se establece como objeto de este estudio encontrar un nexo entre Revit y SVG que no dependa de ningún motor externo, software de terceros o suscripción, para garantizar la continuidad del flujo en cualquier circunstancia.

Presentación del caso de estudio

Se utiliza un edificio residencial plurifamiliar de 22 viviendas, distribuidas desde planta 1 hasta planta 4; 3 locales comerciales en planta baja; y 37 aparcamientos más 24 trasteros en sótano. Todo el proyecto está modelado en Revit.



Fig. 1 Distribución planta 1 edificio empleado. Fuente: propia

1. Vinculación de BIM con Power BI

La primera definición que realizar es que Power BI es un programa de Microsoft, que traduce datos en gráficos visuales; pero que también puede analizar y transformar los datos obtenidos.

Es posible vincular toda la información de un modelo BIM en Power BI. Se podrá hacer un análisis de superficies; evaluar la salud de un modelo en base a unos indicadores (como, por ejemplo, cuántos elementos están ocultos, cuántas vistas no están en plano o cuál es la cantidad de avisos que tiene el proyecto); o incluso obtener datos acerca de las relaciones entre elementos, como las mediciones dentro de una vivienda.

1.1 Trabajo con datos en Power BI

Una de las cosas más interesantes que se pueden encontrar en Power BI es la capacidad de importar la información de muchos orígenes de datos distintos; pues también puede importar SQL o Odata, entre otros. Quizá la interacción con estos formatos extraídos de BIM pueda ser objeto de un estudio posterior.

Al exportar datos de un modelo BIM, como una tabla de superficies desde Revit, la información no siempre está unificada y bien formateada. Puede haber filas en blanco, valores o totales cuya fórmula no se exporta, o incluso diferencias de formato entre las columnas de superficies: de no configurarse expresamente, es posible que algunas tengan el sufijo de metros cuadrados y otras no.

En Power BI es posible moldear y transformar esos datos; convertir la información que se recibe para adaptarla a lo que se necesita. Además, el punto clave no es poder limpiar datos, sino que Power BI recuerda los pasos que se han realizado; los filtros que se han ido aplicando para conseguir un resultado final. Cada paso queda registrado, de manera que al actualizar el origen de datos, se vuelven a aplicar automáticamente los pasos para obtener el mismo resultado ajustado y refinado. Por tanto, sí se puede actualizar la información desde el modelo BIM.

2. Información del modelo BIM y relación entre los datos

2.1 Información contenida en el modelo BIM

Para documentar el edificio objeto del estudio se utilizan una serie de tablas de planificación; salvo indicación expresa, todos los parámetros o campos son rellenables de forma nativa en el propio programa BIM.

Tabla de Revit 1. cuadro de superficies útiles. Indica los campos de Departamento, Nivel, Nombre, Superficie real, porcentaje de computabilidad, superficie computable, comentarios y número de vivienda.

- Para rellenar el campo de Departamento se utilizan los tipos de vivienda (A1,A2,B1,B2,C1 y C2) e identificadores para el resto de espacios (Zonas comunes, locales comerciales, trasteros, sótano).
- El campo "Porcentaje de computabilidad" es un parámetro creado ad hoc para introducir un número entre el 0 y el 1 indicando la computabilidad del espacio: zonas bajo rasante 0, zonas interiores 1, y galerías abiertas pero cubiertas 0,5.
- El campo Superficie computable es una multiplicación directa de la superficie real por el porcentaje de computabilidad.
- El campo Comentarios se rellenará automáticamente con el ID de cada habitación mediante un script de Dynamo.
- El campo "Número de vivienda" se ha creado específicamente para introducir en cada estancia el texto del número de vivienda a la que pertenece, de la 1 a la 24; si es una estancia de las zonas comunes se indica ZC; y los locales comerciales se numeran de L1 a L3.

Tabla de Revit 2: cuadro de superficies construidas. Indica los valores de las áreas delimitadas en el modelo BIM. Se utilizan los campos de Nivel, Nombre de área, Área, Porcentaje de computabilidad y Superficie computable. Estos dos últimos campos son análogos a los de la tabla 1, no requiriendo mayor presentación.

Tabla de Revit 3: acabados de habitación – claves. Esta tabla muestra los diferentes estilos de habitación disponibles en el modelo y los diferentes acabados posibles.

- Los estilos de habitación son Circulaciones – Salón y habitaciones – zonas húmedas – exterior - zonas comunes – trasteros – sótano.
- Los acabados disponibles para muro son: enlucido – enfoscado – alicatado.
- Los acabados posibles para suelo son: pavimento laminado – pavimento terrazo – pavimento gres – pavimento exterior – pavimento hormigón
- Los acabados posibles para techo son: enlucido – enfoscado – falso techo liso – falso techo desmontable – vermiculita proyectada.

Tabla de Revit 4: acabados de habitación - superficies. Esta tabla relaciona cada comentario de habitación (es decir, su identificador único ID) con su estilo de habitación correspondiente.

3. Vinculación de los datos del estudio entre sí en Power BI

Cuando existen diferentes orígenes de datos, Power BI trata de establecer automáticamente relaciones entre ellos: obtiene el título de cada columna en una tabla y lo busca en los títulos de otras tablas.

El nombre de habitación o el tipo de vivienda se repiten en diferentes viviendas, de manera que no es un campo único e inequívoco para identificar una estancia concreta; es necesario otro valor. El parámetro ID, un código numérico de 6 dígitos interno de Revit, sí que es único y, por tanto, es en este caso el identificador elegido para señalar cada habitación.

Las tablas 1 y 2 se relacionan a través del campo Nivel. En esta profundidad del estudio no se han relacionado las superficies construidas de cada vivienda.

Las tablas 1 y 4 se relacionan con el campo Comentarios, que contiene el ID de cada estancia.

Las tablas 3 y 4 se relacionan a través del Estilo de habitación.

A partir de estas conexiones es posible interrelacionar todos los datos.

4. Utilización de Dynamo para obtención de ID

Se utiliza el complemento Dynamo para agilizar el trasvase de información y poder emplear el flujo estándar de exportación de tablas desde Revit. Otros procedimientos posibles implican el uso de addins externos, así que se opta por un flujo que no dependa de terceros. El script o definición de Dynamo utiliza únicamente 6 nodos, todos ellos nativos, que hacen el siguiente flujo:

Seleccionar categoría Habitaciones → obtener todas las habitaciones del modelo → obtener el ID de cada elemento → convertirlo en un texto → incorporarlo al campo “Comentarios” (parámetro nativo de Revit).

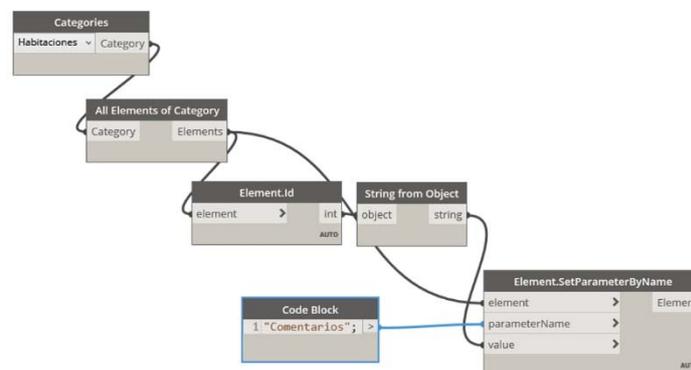


Fig. 2 Script Dynamo para obtener ID. Fuente: propia

La utilización de esta definición de Dynamo no está relegada a quienes tengan un conocimiento de la herramienta, sino que se puede utilizar desde el propio reproductor de Dynamo sin necesidad de abrir el script en ningún momento.

5. Datos gráficos en Power BI: generación automática de un SVG desde Revit

Para representar la planta del edificio en Power BI se requiere una solución vectorial, abierta y relacionable con los datos numéricos. La solución es un archivo SVG; éste es, como ocurre con muchos formatos

abiertos, legible mediante un bloc de notas. Parte de un formato XML. Si se comprende su estructura, entonces es posible reproducirlo escribiendo de forma manual el contenido.

6. La estructura de un SVG

De forma análoga a un archivo HTML, es necesario un encabezado que indique, al menos:

- versión de SVG
- espacio de trabajo SVG
- Dimensión en píxeles de la imagen, indicada a partir de las esquinas inferior izquierda y superior derecha de un rectángulo contenedor.

Como ejemplo se puede observar este:

```
<svg version="1.1" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" viewBox="0 0 7.55 11.96" xml:space="preserve">
```

Después, un área de geometría, que empieza con <g>, donde deben definirse los elementos geométricos de una forma muy básica:

- Un polygon id (donde se coloca el ID de la habitación)
- Una serie de coordenadas XY para indicar los vértices del polígono; cada par de coordenadas se separa con un espacio, tiene el símbolo del punto como separador decimal y se diferencia del siguiente par de coordenadas mediante una coma.
- Un estilo de relleno, un color y grosor de borde

Esta estructura se repite con tantos polígonos como sean necesarios; se cierra el archivo con </g></svg>. Como ejemplo, un rectángulo sencillo.

```
<polygon id="123456" points="6.15 8.15, 6.15 11.50 , 10.53 11.50 , 10.53 8.15, " style="fill: none; stroke-width: 0.01; stroke: #000000;"/>
```

7. Flujo de generación de un SVG desde Dynamo

Dynamo, como complemento integrado en Revit, no es una aplicación de terceros ni requiere de suscripciones adicionales; así que cumple las premisas iniciales de este estudio.

La estructura del documento de Dynamo es sencilla en cuanto a su concepto, pero más compleja en el desarrollo. La versión generada en el estudio está abierta a nuevas iteraciones y mejoras. El proceso de trabajo, simplificado, es el siguiente:

- Tomar todas las habitaciones de una vista y obtener sus contornos
- Localizar los puntos XY más bajos y definirlos como origen de geometría
- Si una habitación tiene varios polígonos (por ejemplo, el hueco que forman los pilares) tomar como referencia el mayor
- Convertir las coordenadas a texto con el separador decimal como punto
- Añadir comas entre los valores XY y colocar el prefijo polygon ID con el ID de la habitación
- Colocar sufijo de cada Polygon con el relleno y grosor de línea deseado
- Obtener el XY más alto para definir la Viewbox del SVG
- Generar encabezado de SVG genérico con el tamaño de Viewbox obtenido
- Combinar todos los textos y exportar a SVG

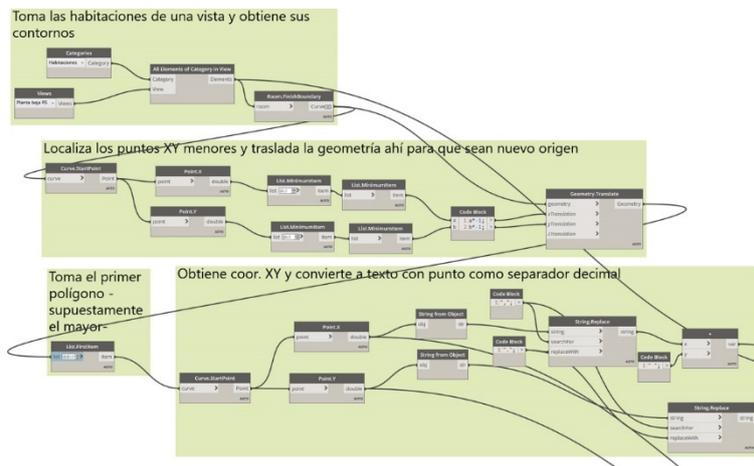


Fig. 3 Script Dynamo para exportar SVG, parte 1. Fuente: propia

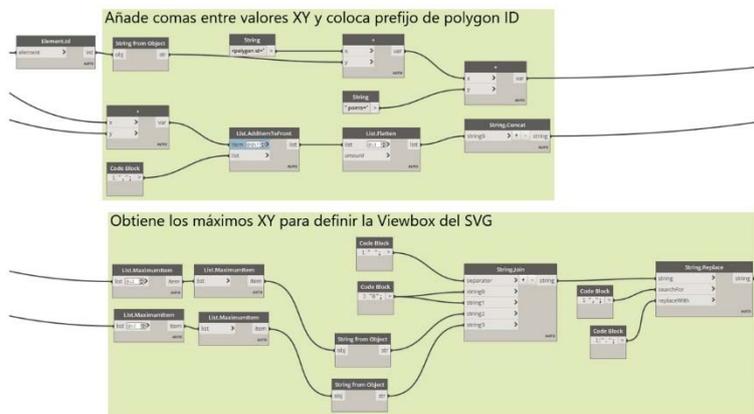


Fig. 4 Script Dynamo para exportar SVG, parte 2. Fuente: propia

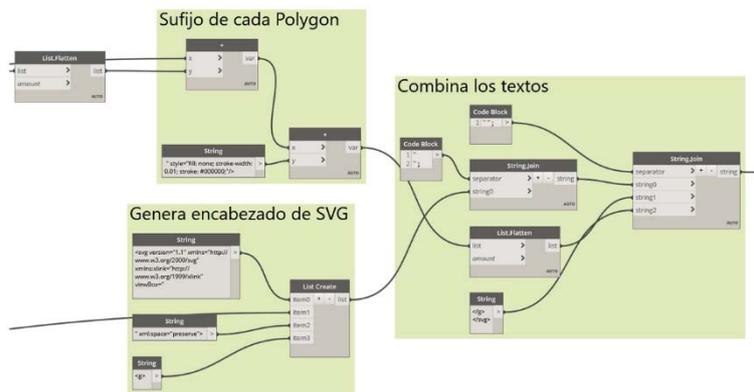


Fig. 5 Script Dynamo para exportar SVG, parte 3. Fuente: propia

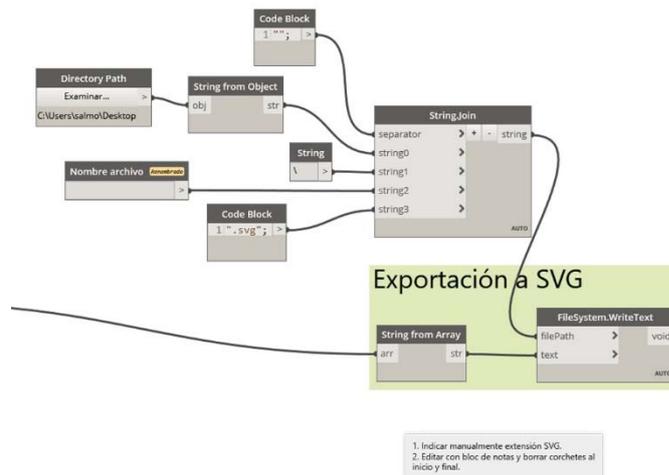


Fig. 6 Script Dynamo para exportar SVG, parte 4. Fuente: propia

Esta definición en Dynamo se puede utilizar desde Revit Viewer, visor gratuito, utilizando el reproductor de Dynamo e indicando nombre de la vista y nombre del archivo a exportar.

8. Conclusiones

Conseguir habilitar un flujo de trabajo abierto entre Revit y Power BI pone de manifiesto que es posible utilizar las ventajas de BIM desde fuera del BIM, utilizando herramientas más apropiadas para el uso necesario, y por perfiles que no necesitan tener un manejo de la herramienta.

Iteraciones posteriores de este estudio, todavía en proceso, han demostrado la posibilidad de prescindir directamente del software de modelado BIM, utilizando como datos de partida la información contenida en un modelo IFC para ser tratados en Power BI, garantizando así la universalidad del proceso.

El panel de Power BI muestra una aproximación diferente a la información contenida en el modelo BIM, pero utilizable por agentes distintos a los proyectistas, con una necesidad, uso y finalidad de la información totalmente diferente.

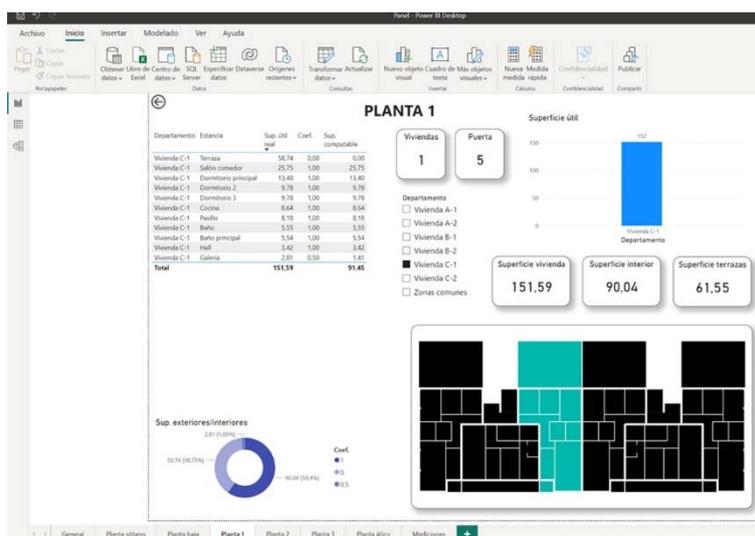


Fig. 7 Panel de datos de una planta con vivienda seleccionada. Fuente: propia

No sólo eso, sino que la exportación de las dimensiones básicas de las habitaciones de un modelo (área, perímetro de suelos y superficie vertical) abre la puerta a que las personalizaciones de vivienda puedan

obtenerse directamente desde Power BI a través de los datos arrojados por el modelo BIM, pudiendo tomarse decisiones en cuanto a acabados y sus variaciones de forma tanto global (toda una promoción de viviendas) como local (una vivienda o incluso una sala) combinando los datos de precios de una fuente interna de la promotora o constructora, con la segmentación de superficies extraíble del modelo BIM y el panel de Power BI.

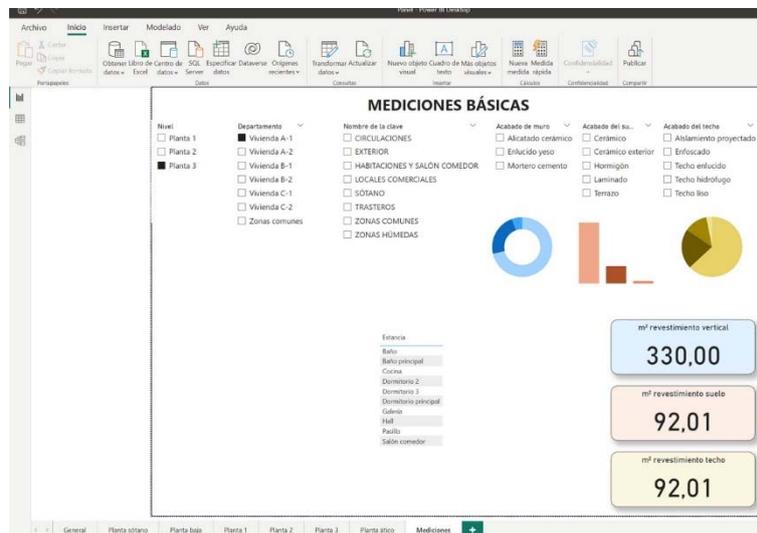


Fig. 8 Panel de datos de mediciones básicas de una vivienda concreta. Fuente: propia

Referencias

AGÜERO, L (2020) "Revit + Interoperability tool + Power BI = Visualizador de datos". En: *Autodesk University* <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/es/class/Revit-Interoperability-tool-Power-BI-Visualizador-de-datos-2020>>

BLOGIC. <<https://www.bimservices.it/>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

"Connecting Revit to Power BI: An Introduction to Visualizing Model Data". *Youtube* <<https://www.youtube.com/watch?v=051WFW52C5g>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

KG-dev BV. <<https://kg-dev.be/project/3dbi-for-revit/>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

LINKEDIN LEARNING. *Power BI y análisis de datos*. <<https://es.linkedin.com/learning/revit-y-power-bi-analisis-de-datos>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

MICROSOFT. *Visualización de datos | Microsoft Power BI*. <<https://powerbi.microsoft.com/es-es/>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

OKVIZ CORP. *Synoptic Designer for Power BI*. <<https://synoptic.design/>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

PROVING GROUND LLC <<https://apps.provingground.io/tracer/>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

SVG namespace. <<http://www.w3.org/2000/svg>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

"Connecting Revit to Power BI: An Introduction to Visualizing Model Data". *Youtube* <<https://www.youtube.com/watch?v=051WFW52C5g>> [Consulta: 4 de marzo de 2023]

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM



FLUJO DEL DATO EN LA SMART CITY

Gómez-Ferrer, César^a y Aznar-Cabotá, Sergio^b

^aArquitecto por la Universitat Politècnica de València y BIM Manager en Global Omnium, cgofer@globalomnium.com; ^bIngeniero en Geodesia y Cartografía por la Universidad Politécnica de Valencia y Jefe del departamento GIS en Idrica, sergio.aznar@idrica.com.

Abstract

In an increasingly urbanized world, cities use information systems to improve the efficiency and quality of life of their inhabitants. These cities use technology and data to address urban challenges. One of the areas "Smart Cities" can have a significant impact is in the water sector where the implementation of monitoring and management systems can guarantee a sustainable and safe supply for its citizens.

Therefore, we will explore the challenges of integrating different information systems, focusing our experience on the tandem formed by both geographic information systems and the detail provided by BIM models in order to capture, store, and analyze data. At the same time, we will analyze the schematization of the IFC format, optimizing its management from the root.

To materialize this project, we opt for a dynamic visualization of the data that will allow us to perform graphic queries and to modify its attributes through IoT. Thus, this digital twin will enable us to evaluate in real time the treatment and distribution parameters, as well as propose possible corrections to improve water quality.

Keywords: Smart City, BIM, GIS, IFC, IoT, Digital Twin, Water, Digitalization

Resumen

En un mundo cada vez más urbanizado las ciudades utilizan sistemas de información para mejorar la eficiencia y calidad de vida de sus habitantes. Estas ciudades utilizan tecnología y datos para hacer frente a los desafíos urbanos. Una de las áreas donde las "Smart Cities" pueden tener un impacto significativo es en el sector de agua donde la implementación de sistemas de monitorización y gestión pueden garantizar un suministro sostenible y seguro para sus ciudadanos.

Exploraremos los desafíos que suponen la integración de diferentes sistemas de información, centrando la experiencia en el tándem formado por los sistemas de información geográfica y el detalle aportado por modelos BIM para capturar, almacenar y analizar datos. Paralelamente analizaremos la esquematización del formato IFC optimizando la gestión desde su raíz.

Para materializar este proyecto optamos por una visualización dinámica de los datos que nos permita realizar consultas gráficas además de la modificación de sus atributos a través de IoT. Este gemelo digital nos permitirá evaluar en tiempo real los parámetros de tratamiento y distribución, así como plantear posibles correcciones para mejorar la calidad del agua.

Palabras clave: Ciudades Inteligentes, BIM, SIG, IFC, IoT, Gemelo Digital, Agua, Digitalización

Introducción

Para el año 2025, se prevé que alrededor de 3,5 mil millones de personas vivirán en zonas de escasez de agua, mientras que la demanda de agua aumentará un 30% hasta 2050. Además, se espera que el número de personas en riesgo de inundaciones aumente de 1,2 millones a 1,6 millones para ese mismo año. Con este motivo, las empresas del sector del agua están invirtiendo en soluciones tecnológicas que permitan una correcta gestión del ciclo integral del agua (iAgua, 2023).

Los sistemas de monitorización permiten recolectar y analizar datos en tiempo real sobre el funcionamiento de edificios e infraestructuras de una ciudad. Estos datos pueden utilizarse para mejorar la eficiencia energética, reducir costes y mejorar la calidad de vida de los habitantes. Se busca integrar soluciones tecnológicas que permitan el control y la gestión eficiente de los servicios públicos. En este sentido la inteligencia de una ciudad describe su capacidad para utilizar sus recursos de forma eficaz (Anthopoulos, 2017).

Con una gran suficiencia para manipular grandes cantidades de datos, BIM es compatible con los requisitos de información en aplicaciones de operación y mantenimiento. La heterogeneidad en la información y la complejidad en el almacenamiento conducen a datos no intuitivos generando una brecha entre los datos y el uso de la información. (Yang Peng, 2017). Sin embargo, la integración de información basada en modelos digitales abre numerosas aplicaciones y beneficios con respecto a la gestión de proyectos basados en documentos (Opiz, 2014).

La gestión del Ciclo Integral del Agua es la principal actividad de Global Omnium que inició su proceso de transformación digital a principios del siglo pasado, bajo la necesidad de hacer frente a situaciones adversas, la necesidad de ajustar los costes de operación e incrementar la competitividad (Global Omnium, 2023). Por su parte, Idrica se originó como una derivada de Global Omnium, aprovechando su experiencia y tecnologías digitales previas, su enfoque principal es la innovación digital en el sector del agua, con la finalidad de mejorar la eficiencia de las organizaciones en este sector.

Tras los buenos resultados obtenidos en el proceso de transición digital, se ha convertido en un medio necesario para afrontar los retos futuros. Asociando el know-how de expertos vinculados a la operación del ciclo integral del agua y un equipo multidisciplinar de analistas, programadores, técnicos de sistemas se ha desarrollado la plataforma Go-Aigua, desarrollada por Idrica y bajo la supervisión de Global Omnium para el módulo BIM.

1. Objetivo

El objetivo principal es agregar los sistemas de información BIM y GIS como canal de entrada y salida de datos dentro de una plataforma de gestión integral para poder establecer un flujo de comunicación entre los agentes implicados en el ciclo integral del agua.

La plataforma digital *Go-Aigua* unifica toda la información de los procesos e infraestructuras para optimizar la operación y la toma de decisiones en las empresas del sector del agua. La plataforma digital captura, procesa, homogeneiza y explota el dato de múltiples fuentes. De esta forma, centraliza la visualización de indicadores y el control de activos. (Idrica, 2023)

Se propone utilizar los sistemas BIM (Building Information Modeling) y GIS (Sistema de Información Geográfica) como soporte de datos de los activos. Esta integración de datos es fundamental para el análisis y la toma de decisiones. El uso de sistemas de información BIM y GIS como apoyo gráfico permite a los usuarios visualizar la información para comprender la relación entre los datos y obtener una visión más completa de la infraestructura.

Además, permitirá la colaboración entre diferentes equipos y departamentos, ya que todos pueden acceder al mismo modelo de información. La incorporación de los datos en una fuente única y fiable permite a gestores y técnicos tener una visión completa y actualizada del estado de la ciudad, facilitando la toma de decisiones y resolución de problemas de forma más eficiente y efectiva.

Nuestra filosofía es incluir el mínimo número de datos posible sobre los modelos geométricos, basado en la necesidad de mantener la información lo más sencilla y accesible posible, para después conectar diferentes bases de datos sobre los objetos.

En este sentido destacamos tres tipos de datos esenciales a incluir en el modelo:

- La utilización de la GUID como identificador único permite conectar el modelo a diferentes bases de datos, permitiendo una gestión más eficiente.
- Los datos de identificación y clasificación permiten determinar de manera clara y sencilla los elementos, facilitando su localización y su interpretación.
- Además, el uso de un sistema de etiquetado (TAG) que pueda ser interpretado fácilmente por técnicos y operarios, permite una mayor rapidez en la consulta.

Así los modelos BIM y GIS se incorporan como una fuente más de información procedente de una gran variedad de sistemas dentro de nuestra plataforma: IoT (Internet de las cosas), ERP (Planificación de recursos empresariales), SCADA (Sistemas de control de datos), PLS (Sistemas de gestión de la cadena de suministro), CMR (Gestión de la relación con el cliente), entre otros.

Estos datos agregados de múltiples orígenes son transformados en información útil para la operación y permiten generar conocimiento para optimizar la toma de decisiones gracias a las tres capas de arquitectura de la plataforma:

- Integración, procesamiento y estandarización de los datos.
- Optimización de las fases operativas del ciclo integral de agua.
- Visualización estratégica de KPI y cuadros de mando.

2. Metodología

La metodología empleada en este estudio se fundamenta en la utilización de bibliotecas de software libre con el fin de integrar sistemas de información BIM y GIS en una plataforma que posibilite la adquisición, almacenamiento y análisis de datos en una ciudad inteligente. Esto ofrece una oportunidad única para la transmisión y actualización de información en tiempo real, lo que facilita el mantenimiento y la actualización de los modelos una vez se agregan a la plataforma. (Kumar, 2020)

La plataforma Go-Aigua (Go-Aigua, 2023) es una solución de software para la gestión integral del ciclo del agua que está basada en la biblioteca "go-gis". Desarrollada en TypeScript de JavaScript, permite la construcción de interfaces de usuario de forma sencilla. Esta biblioteca permite ensamblar los diferentes módulos necesarios para la captura y análisis de datos desde cualquier Framework de JavaScript, lo que la convierte en una herramienta adaptable a cualquier plataforma web.

Se utiliza la biblioteca IFC.js para conectar los datos provenientes de un modelo BIM con los datos GIS en formato GeoJson. La integración de ambas tecnologías permite una mejor comprensión y análisis de la información espacial en un entorno web.

La biblioteca IFC.js permite la visualización y navegación de los modelos BIM sobre la plataforma, lo que supone que los usuarios puedan interactuar directamente con modelos BIM y acceder a información relacionada con una infraestructura de forma remota. Además, la visualización de los modelos en la web permite la colaboración y el intercambio de información en tiempo real entre los diferentes agentes involucrados. (Ifc.js, 2021)

Para el almacenamiento de datos, se utiliza una base de datos relacional SQL. En el contexto de la integración de sistemas de información, es importante contar con una base de datos que permita un rápido acceso y búsqueda de datos. Es por ello por lo que se utiliza una base de datos relacional, que organiza los datos en tablas y utiliza claves para establecer relaciones entre ellas.

3. Análisis

Tradicionalmente, los dominios geoespaciales y el modelo construido han sido considerados por separado. Los datos que describen el entorno han sido utilizados por aplicaciones GIS mientras que los modelos de información de las construcciones eran recogidos por software BIM. El surgimiento de GIS a escala urbana, el uso del BIM en infraestructuras y el análisis IoT han desdibujado este límite (Gilbert, 2020).

En este capítulo analizaremos los formatos utilizados para describir ambos modelos de información.

3.1. Explorando el IFC

IFC (Industry Foundation Classes) es un formato de intercambio de información utilizado en la industria de la construcción para compartir datos entre diferentes aplicaciones. A diferencia de las bases de datos relacionales, IFC no es una base de datos en sí misma, sino que está diseñado como un modelo de datos basado en un conjunto de reglas y definiciones (Building Smart, 2017) para representar la información del proyecto de construcción.

La información en IFC se organiza en una estructura de árbol que describe los elementos y las relaciones en el modelo, lo que lo hace adecuado para representar la complejidad de la construcción. El esquema se centra en tres conceptos fundamentales en la estructura lógica del formato: `IfcObjectDefinition`, `IfcRelationship` y `IfcPropertyDefinition`. (BibLus, 2020)

Para realizar el intercambio de información, utilizaremos etiquetas que permiten identificar los diferentes elementos y relaciones en el modelo. Las etiquetas en IFC son únicas y permiten conectar los datos con diferentes bases de datos a través de un identificador universal (GUID). De esta manera, podemos conectar la información del modelo con diferentes sistemas de información, permitiendo una mejor colaboración y una mayor eficiencia en la gestión del proyecto.

Buscando una mayor adaptabilidad en la gestión de información de modelos de datos se despliega el modelo IFC como lenguaje de marcado extensible (XML). De esta manera, se puede recoger cualquier modelo de datos, lo que aumenta la interoperabilidad y flexibilidad de la plataforma.

El nivel de información requerido (LOIN) queda a elección del cliente, lo que permite ajustar la cantidad y calidad de información según las necesidades específicas de cada proyecto. En la primera prueba de concepto, se utilizaron principalmente los parámetros definidos en el esquema IFC para garantizar la estandarización y la coherencia de los datos.

El uso de la biblioteca IFC.js en el visor permite que funcione con cualquier modelo IFC que cumpla con las especificaciones del estándar, independientemente de la herramienta de autoría utilizada. La visualización está completamente operativa para la versión 2x3 del estándar IFC, sin embargo, se han registrado algunas incidencias para los modelos exportados en la versión IFC 4, lo que puede limitar la visualización de algunos elementos del modelo.

3.2. Representación geográfica del dato: GeoJSON

Para representar los datos GIS utilizaremos ficheros GeoJSON porque es un formato de intercambio ampliamente utilizado y estandarizado. GeoJSON es un subconjunto de JSON (JavaScript Object Notation), que es un formato fácil de leer y escribir para los humanos y extiende sus capacidades para representar información geoespacial.

Además, la mayoría de los softwares GIS y los navegadores web actuales admiten GeoJSON, lo que permite la visualización y análisis de los datos en una amplia gama de dispositivos y aplicaciones.

La información se representa mediante objetos JSON que describen puntos, líneas, polígonos, y otros tipos de geometría. Permite además incluir información adicional en forma de atributos asociados a cada objeto geométrico utilizando el sistema geodésico mundial WGS84. (Butler, 2016)

4. Desarrollo

4.1. Contexto de desarrollo

Go-Aigua ha sido creada con el propósito de ofrecer una plataforma que permita controlar el ciclo integral del agua. Todo en un único entorno que garantice una gestión optimizada de los recursos hídricos, integrando tecnologías de última generación como el Internet de las cosas (IoT) o la inteligencia artificial (IA). En este desarrollo se ha incorporado un visor BIM sobre el visualizador de datos GIS existente, que permite una experiencia completa al importar, visualizar, editar y exportar datos dentro de la plataforma, trabajando directamente sobre un escenario web sin necesidad de un software de escritorio.

La arquitectura general se basa en una estructura de microservicios que se comunican entre sí a través de una API. Esta arquitectura permite una alta escalabilidad, modularidad y flexibilidad para la integración con otros sistemas y soluciones. En cuanto a su esquema de front-end, GoAigua utiliza una arquitectura de aplicaciones web SPA (Single Page Application) que se basa en la utilización del frameworks React. A continuación, se presentan algunas herramientas para el desarrollo de módulo BIM de la plataforma.

4.2. Ubicación del modelo BIM en un entorno GIS

Para lograr la integración de los sistemas GIS y BIM en la plataforma, se ha desarrollado una aplicación web utilizando librerías de JavaScript. La aplicación genera un mapa que muestra los activos GIS y una ventana paralela donde se puede navegar los modelos IFC en detalle. Este visor se basa en las funcionalidades implementadas en la librería de mapas GO-GIS junto con el apoyo de la librería IFC.js.

Para generar un nuevo activo, se define un GeoJSON vacío. Cada nueva inserción de elemento (feature), obtiene los datos genéricos del archivo IFC y su ubicación. Utilizando la librería Go-GIS, se insertan datos de modelos federados.

Al agregar la ubicación y los elementos base dentro de las características (features) conseguimos la vinculación entre el modelo IFC y los datos GIS (Fig.1).

```
type: "FeatureCollection",
features: [{type: "Feature",: {IFCPROJECT: "Ampliacio EDAR Macanet", IFCPOSTALADDRESS:
'Carrer de la Indústria, PolígonPuigti', IFCBUILDING: "EDAR Macanet",}},
geometry: {coordinates: [202817.2943, 5080894.0775],: "Point"}
```

Fig.1 Código de generación de activo en el visor GIS. Fuente: Elaboración propia (2022)

4.3. Integración de datos geoespaciales en el modelo de construcción

Una vez ubicado el modelo, se busca la interacción entre los datos GIS y el modelo IFC, intersecando el punto definido con las de capas desplegadas en el mapa. Por ejemplo, en este estudio se ha utilizado una capa de usos del suelo y zonas de protección españolas que se añaden automáticamente al IfcSite dentro de la raíz del modelo IFC.

- INVENTARIOESPAÑOLDEAREASPROTEGIDAS: RED NATURA 2000
- USODELSUELO: farmland

4.4. Implementación del modelo IFC en una solución FRONT-END

El visor IFC se realiza a través una pantalla externa embebida (Fig.3) para que cada sistema puede tener sus propias herramientas y capacidades, y las funcionalidades se mantenga separadas y claramente definidas.

En este desarrollo se obviarán datos técnicos de metodología arquitectónica del código para únicamente exponer el código necesario para visualizar y realizar las herramientas IFC.

En primer lugar, se crea un contenedor para la creación del entorno donde visualizaremos el modelo. Se genera un canvas denominado *idIFCContainer* (Fig.2), basando su desarrollo en la librería IFCjs:

```
container = document.querySelector(idIFCContainer);
viewer = new IfcViewerAPI({container: this.container,});
onLoad = onLoad;viewer.axes.setAxes();resizeRenderer();raycaster.firstHitOnly = true;
const preselectMat = new MeshLambertMaterial({transparent: true, opacity: 0.4,color: 0x1979c2,
depthTest: false});viewer.IFC.selector.preselection.material = preselectMat;
```

Fig.2 Código de generación de canvas. Fuente: Elaboración propia (2022)

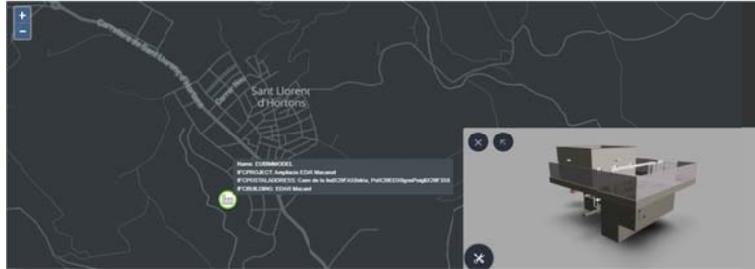


Fig.3 Visor IFC y GIS. Fuente: Elaboración propia (2023)

Al precargar el modelo hemos considerado necesario implementar unas reglas de validación basadas en el BIM basic Information Delivery Manual (Bimlocket, 2018) para garantizar la calidad y coherencia de los datos del modelo:

1. FileName
2. Local Position and Orientation
3. Building storeys and naming
4. Correct use of entities
5. Structure and naming
6. Objects with correct materialization
7. Duplicates and intersections

De esta forma, y gracias a la librería IFC.js se consigue generar un visor con pocas líneas de código que además es escalable para realizar herramientas de análisis del modelo. Para el desarrollo de estas herramientas se analizan diferentes soluciones comerciales y las últimas tendencias en el sector (MSI Studio, 2023).

4.4.1. Medición de distancias

El principal avance que supone un modelo de datos basado en geometría es la capacidad de representar la forma y dimensiones exactas de los elementos. La incorporación de una herramienta de medición en un visor BIM es esencial para permitir a los usuarios analizar y comprender los datos que se presentan. Dado que es un desarrollo propio, la implementación de esta herramienta posibilita el acceso a datos que no están explícitos en el modelo para habilitar una inspección integral sin necesidad de salir de la plataforma.

Esta funcionalidad se desarrolla a través de dos interacciones: inicialización y finalización de la medición. Cada una de ellas genera un cilindro sobre la superficie a medir como respuesta visual al usuario. Para el cálculo se implementa una funcionalidad nativa de threejs llamada *CSS3dRenderer*:

La distancia calculada se almacena en una variable (Fig.4) para poder añadirla a una etiqueta generada en html consiguiendo la visualización del dato obtenido que se actualiza en tiempo real (Fig.5).

```
const positions = this.line.geometry.attributes.position.array as Array<number>;
const v0 = new Vector3(positions[0], positions[1], positions[2]);
const v1 = new Vector3(intObjs.point.x,intObjs.point.y,intObjs.point.z);
positions[3] = intObjs.point.x;
```

```
positions[4] = intObjs.point.y;
positions[5] = intObjs.point.z;
this.line.geometry.attributes.position.needsUpdate = true;
const distance = v0.distanceTo(v1);
this.measurementLabels.get(this.lineId).element.innerHTML = distance.toFixed(2) + "m";
this.measurementLabels.get(this.lineId).position.lerpVectors(v0, v1, 0.5);
```

Fig.4 Código de generación de etiqueta. Fuente: Elaboración propia (2023)



Fig.5 Herramienta medición. Fuente: Elaboración propia (2023)

4.4.2. Corte por plano

Gracias a las funcionalidades que ofrece IFCjs esta parte se desarrolla utilizando muy pocas líneas de código (Fig.6).

```
container.addEventListener("dblclick", this.handleClip.bind(this));
handleClip() {
  viewer.clipper.active = true;
  viewer.clipper.createPlane();
  getContainer().addEventListener("dblclick", (event) => {
    disableClip();});
```

Fig.6 Código de creación de plano de corte. Fuente: Elaboración propia (2022)

Con ellas se genera un plano de corte sobre el modelo que nos permite visualizar el interior (Fig.7), así como obtener una sección 3D al hacer click sobre una de las caras de cualquier elemento del modelo. Este plano dispone de tiradores que nos permiten desplazar el mismo a lo largo de un eje transversal.



Fig.7 Herramienta corte por plano. Fuente: Elaboración propia (2023)

4.4.3. Consultas gráficas

Las consultas gráficas son filtros dinámicos para codificar por color los elementos del modelo en función de sus parámetros. En primera instancia se han desarrollado 3 consultas gráficas básicas:

- Según la entidad IFC (Fig.8)
- Según el IfcSystem
- Según el modelo de origen

Paralelamente se está desarrollando una herramienta que permita la libre configuración de estos filtros a través de cualquiera de las propiedades del modelo.

Para clasificar los elementos del modelo según su categoría se genera un archivo modelsIFC.js que contiene todas las clases IFC acorde el estándar. Se listan estos elementos para que sea más rápida la velocidad de inicialización de la herramienta (Fig.9), aunque esto solo se solo sea posible cuando se conocen los posibles valores de la propiedad. Esta herramienta dispone de un configurador, que despliega exclusivamente aquellos botones de las clases IFC que están contenidas en el modelo:

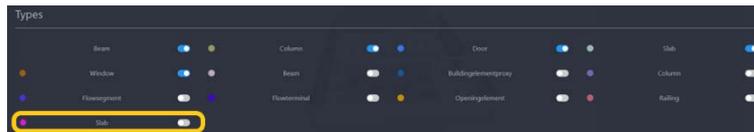


Fig.8 Configuración de filtros. Fuente: Elaboración propia (2023)

```
types.filter((type) => type.active && type.available).forEach((type) => {getModels().forEach((model) =>
{viewer.IFC.getAllItemsOfType(model.modelID, id, false).then((itemsIds) => {if (itemsIds.length === 0)
{return;}
const material = new MeshLambertMaterial({ type.active && type.available ? type.color : 0x000000,transparent:
true,opacity: type.active && type.available ? 0.75 : 0.25, depthTest: false,});
const config = {modelID: model.modelID, scene:getScene(), itemsIds, material, removePrevious:
true,`${model.modelID}-${type.id}`};
if (active) {const subSet =viewer.IFC.loader.ifcManager.createSubset(config)
// Check if the subset is already created
if (subSubsets.has(config.customID)) {console.warn("The subset already exists");}
subSubsets.set(config.customID, subSet);}
else {subSubsets.forEach((subSet) => {subSet.removeFromParent();}
subSubsets.clear();}
```

Fig.9 Código de asignación de materiales por categoría IFC. Fuente: Elaboración propia (2022)

Permitiendo un análisis visual del modelo (Fig.10).

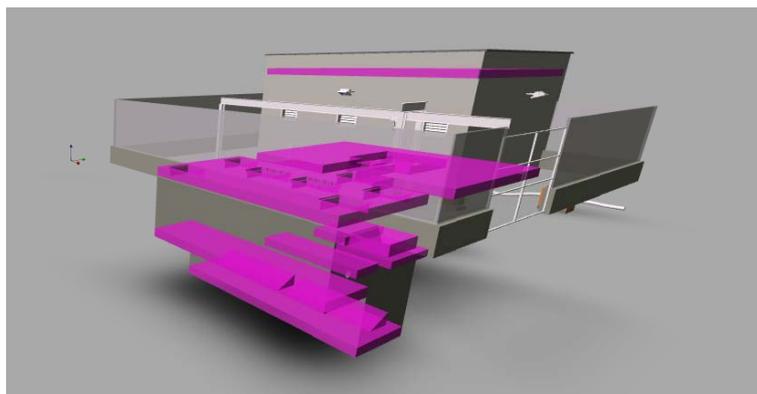


Fig.10 Herramienta filtro vista. Fuente: Elaboración propia (2023)

4.4.4. Estructuración de datos en tabla

En busca de la gestión de múltiples objetos del modelo, se implementa una funcionalidad que permite visualizar los elementos del modelo en forma de tabla (Fig.11) y que además permita la selección de estos.

El desarrollo consiste en desplegar el archivo IFC como un archivo XML y mapearlo mediante sus GUIDs. Además, esta herramienta está vinculada a la configuración de consultas graficas del apartado anterior, lo

que establece un primer filtro de los elementos a mostrar en la tabla. Esta tabla se genera gracias a la librería ag-grid que permite un filtrado en segundo nivel, así como la ordenación según cualquiera de sus características.

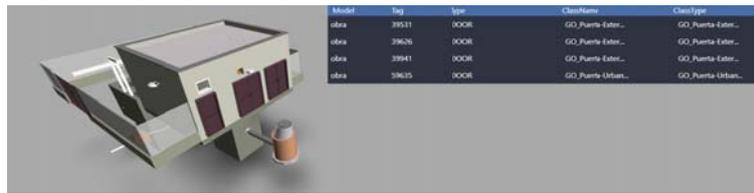


Fig.11 Herramienta tablas. Fuente: Elaboración propia (2023)

Para gestionar las interacciones del usuario se utiliza un array que permite la selección de los elementos del modelo conociendo su ubicación. Se utiliza la funcionalidad pickItemById (Fig.12) de IFCjs para obtener el elemento y remarcarlo.

```
const modelId = this.ifc.getModel(prop.name).modelID;
this.ifc.pickItemById(modelId, [item.properties.expressID]);
```

Fig.12 Código de selección de elementos. Fuente: Elaboración propia (2022)

4.4.5. Consulta y edición de datos

Además de la selección de elementos a través de la tabla, se considera fundamental para un visor IFC la posibilidad de interactuar directamente con las representaciones geométricas de los elementos. La selección de cualquier elemento centra la vista sobre el mismo además de desplegar un menú (Fig.13) que nos permite consultar y editar los datos contenidos en el objeto (Fig.14).

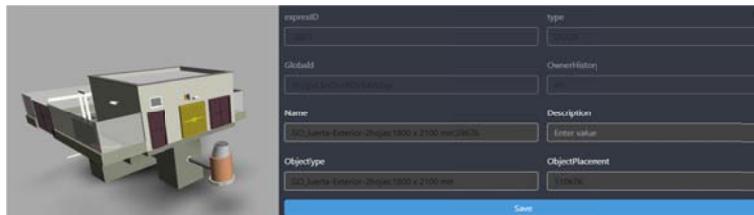


Fig.13 Herramienta selección. Fuente: Elaboración propia (2023)

```
public pickIFC(model?: string) {
  if (model) {this.modelPick = model;}
  const preselectMat = new MeshLambertMaterial({transparent: true, opacity: 0.4,color:
  0x1979c2,depthTest: false,});
  // Reference to the previous selection
  const preselectModel = { id: -1 };
  window.onmousemove = (event) => highlight(event, preselectMat, preselectModel);}}
  public async highlight(event, material, model) {const found =selectModel(event)[0];
  if (found != null) {model.id = found.object.modelID;
  const index = found.faceIndex;
  const geometry = found.object.geometry;
  const id = this.viewer.IFC.loader.ifcManager.getExpressId(geometry, index);
  // Creates subset
  this.viewer.IFC.loader.ifcManager.createSubset({
  modelID: model.id,
  ids: [id],
  material: material,
  scene:getScene(),
  removePrevious: true,});}
  else {viewer.IFC.loader.ifcManager.removeSubset(model.id, material);}}
```

Fig.14 Código de selección de objetos. Fuente: Elaboración propia (2023)

La edición es una función pensada para permitir la modificación puntual de los datos en el modelo IFC sin tener que volver a pasar por una herramienta de autoría y volver a exportar el modelo. Esta función es muy útil en situaciones donde se necesita hacer ajustes específicos, aunque es importante destacar que esta edición manual está limitada a la modificación de los datos y no permite la modificación geométrica.

Para la edición masiva de datos a escala de "Smart City", como por ejemplo en el mapeo de datos, se utilizan otros módulos ya disponibles en la plataforma de GoAigua. Estos módulos permiten la edición y gestión de grandes cantidades de datos de manera más eficiente y efectiva.

4.4.6. IFC como canal de salida

Aunque las imágenes únicamente se centran en el visor IFC en todo momento tenemos total interacción sobre el mapa (Fig.15)



Fig.15 Visor BIM-GIS en la plataforma Go-Aigua. Fuente: Elaboración propia (2023)

En este punto ya se puede considerar establecido el formato IFC como un nuevo canal de entrada de datos, lo que permite integrar de forma efectiva los modelos BIM. Sin embargo, no solo interesa poder importar y visualizar modelos IFC, también se pretende utilizar el formato como canal de salida para exportar datos y permitir su intercambio con otras plataformas.

Para ello, se ha desarrollado una serie de herramientas que permiten exportar los datos de los modelos IFC a otros formatos como CSV o XLSX, facilitando la integración con otras herramientas. Además, se ha implementado la posibilidad de exportar modelos IFC (Fig.16), lo que permite a los usuarios compartir sus modelos con otros equipos o plataformas de trabajo.

```
const model = this.getModel(modelName);
viewer.IFC.loader.ifcManager.ifcAPI.ExportFileAsIFC(model.modelID).then((data) => {
  const blob = new Blob([data]);
  const file = new File([blob], fileName ? fileName : modelName) + ".ifc"
  const url = URL.createObjectURL(file);
  const link = document.createElement("a");
  // Download the file
  link.href = url;
  link.download = file.name;
  link.dispatchEvent(new MouseEvent("click"));
  resolve();
});
```

Fig.16 Código de exportación de modelos IFC. Fuente: Elaboración propia (2022)

El uso de IFC como canal de salida permite disponer de modelos parciales reduciendo los recursos necesarios para su representación, posibilita una mayor flexibilidad en el uso de la información y reduce el riesgo de revelar información sensible de infraestructuras públicas.

Es importante destacar que para gestionar el control de versiones del IFC y disponer de su trazabilidad es necesario modificar la sección de encabezado del fichero IFC (Häfele, 2008), donde se encuentran entre otros las etiquetas IFCORGANIZATION y IFCAPPLICATION, para registrar quien y cuando ha realizado una modificación y que software lo ha realizado:

```
#1=IFCORGANIZATION($,'Idrica','Exported from Xylem Vue Powered by GoAigua 2023-2-21T16:25 by Idrica','Idrica','Idrica');
#5=IFCAPPLICATION(#1,'2023','Xylem Vue Powered by GoAigua ','Idrica');
```

5. Conclusiones

La integración de datos provenientes de modelos BIM y GIS como canal de entrada y salida de información en una plataforma de gestión integral constituye una oportunidad para la transmisión de información y la actualización y mantenimiento de los modelos.

En este desarrollo se ha descrito el flujo de información utilizando librerías y formatos abiertos lo que democratiza el acceso a la información, permitiendo una mayor adaptabilidad a diferentes plataformas. Se elimina además la necesidad de utilizar tecnologías propietarias con su coste derivado y garantizando la accesibilidad a la información.

El uso de formatos abiertos promueve la interoperabilidad entre sistemas y herramientas, lo que facilita el intercambio de datos y la colaboración entre los diferentes actores y organizaciones que pueden verse implicados en la gestión del ciclo integral del agua, desde las fases de planificación hasta la operación y mantenimiento de las infraestructuras.

Es fundamental asegurar la trazabilidad de la información de origen a destino, registrando los intercambios para garantizar la fiabilidad de los datos y la validez de las conclusiones que se pueden extraer de ellos, además de mantener la integridad y coherencia de los mismo a lo largo de tiempo.

En el contexto de las Smart Cities, permite una mejor gestión de activos y recursos, lo que resulta en una mayor eficiencia y sostenibilidad en el ciclo integral del agua. Estos modelos permiten simular diferentes escenarios y evaluar su impacto en la ciudad facilitando la comunicación humano-maquina a través de representaciones tridimensionales.

Por otra parte, el uso de modelos BIM puede mejorar la transparencia y participación ciudadana permitiendo el acceso a perfiles menos tecnológicos a través de interfaces menos complejas y orientadas al dato.

En conclusión, la integración de modelos BIM en las Smart Cities constituye una estrategia importante para mejorar la gestión y planificación urbana, y puede tener beneficios significativos para la eficiencia, sostenibilidad, transparencia e innovación de las ciudades del futuro.

6. Futuros desarrollos

Tras analizar las conclusiones obtenidas en el presente estudio sobre el uso del BIM en las Smart Cities, se ha identificado la necesidad de seguir trabajando en el desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas que permitan una gestión más eficiente de los recursos y una planificación urbana sostenible.

En este sentido ya se está desarrollando la integración de los datos de sensores IoT. Además, la creciente popularidad de la tecnología blockchain podría tener un impacto significativo en la gestión de datos y la seguridad (Bhushan, 2020).

También se espera una implementación de las tecnologías de realidad virtual y aumentada que permita una mejor comunicación entre los diferentes actores involucrados en el desarrollo urbano.

Por último, se confía en una mayor colaboración entre los sectores público y privado para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad de las ciudades.

Referencias

- ANTHOPOULOS, L. G. (2017). "Understanding smart cities: A tool for smart government or an industrial trick?" New York: Springer.
- BIBLUS. *IFC file structure (part1): the IfcObjectDefinition* <<https://biblus.accasoftware.com/en/ifc-file-structure-the-ifcobjectdefinition>>[Consulta:28 de enero de 2023]
- BIMLOCKET (2018) "BIM BASIC INFORMATION DELIVERY MANUAL (IDM)" <https://www.bimloket.nl/documents/BIM_basis_ILS_v1_0_ENG.pdf>[Consulta:20 de diciembre de 2022]
- BUILDING SMART (2017) "Industry Foundation Classes 4.0.2.1" <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/>[Consulta:20 de diciembre de 2022]

- BUTLER, H (2016) "The GeoJSON Format" en Internet Engineering Task Force <<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7946>> [Consulta:15 de febrero de 2023]
- BHUSHAN, BHARAT (2020) "Blockchain for Smart Cities: A review of Architectures, Integration Trends and Future Research Directions" en Sustainable Cities and Society <https://e-tarjome.com/storage/panel/fileuploads/2020-07-19/1595145945_E15073-e-tarjome.pdf>
- MSI STUDIO. Visores IFC para solución Open BIM <<https://msistudio.com/visores-ifc-para-solucion-open-bim/>>[Consulta:05 de abril de 2023]
- GILBERT, THOMAS (2020). "Built environment data standards and their integration:an analysis of IFC, CityGML and LandInfra" en OGC Document/buildingSMART Technical Reports <https://f3h3w7a5.rocketcdn.me/wp-content/uploads/2021/02/IDBE_Standards_Integration_v1.1_28_JAN_2021.pdf>[Consulta:20 de diciembre de 2022]
- GO-AIGUA (2023) *Examples* <<https://go-gisapi.go-aigua.com/examples.html>> [Consulta: 3 de marzo de 2023]
- GLOBAL OMNIUM (2023). *Ciclo Integral del Agua* <<https://www.globalomnium.com/Grupo/Nuestro-trabajo/Ciclo-integral-del-agua/>>[Consulta:23 de enero de 2023]
- HÄFELE, KARL-HEINZ (2008) "Implementation Guide for IFC Header Section" en buildingSMART International <https://standards.buildingsmart.org/documents/Implementation/ImplementationGuide_IFCHeaderData_Version_1.0.2.pdf> [Consulta:10 de febrero de 2022]
- I AGUA. *Las seis tendencias tecnológicas en el sector del agua para 2023*. <<https://www.iagua.es/noticias/idrica/seis-tendencias-tecnologicas-sector-agua-2023-segun-idrica>> [Consulta: 28 de febrero de 2023].
- IDRICA. *Go Aigua* <<https://www.idrica.com/es/goaigua>> [Consulta:24 enero de 2023]
- IFC.JS. *Documentation* <<https://ifcjs.github.io/info/docs/Introduction>> [Consulta:15 diciembre de 2022]
- KUMAR, LOVNESH (2020) "Use of BIM in Development of Smart Cities: A Review " en IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/955/1/012010/meta>>
- OPIZ, FRANZ (2014) "Integration of Document- and Model-based Building Information for Project Management Support" en Procedia Engineering (2014, 85, 403-411) <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814019328>> [Consulta:14 de febrero de 2023]
- YANG PENG (2017). "A Hybrid Information Mining Approach on BIM based Building Operation and Maintenance" en Building and Environment (2017, 126, 483-495) <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132317304444>> [Consulta:07 de febrero de 2023].



HBIM APLICADO AL PLAN DIRECTOR DEL CASTILLO DE XIVERT

Martínez-Gómez, David Carlos^a; Alarcón López, Iván José^b y Villacampa Crespo, Laura^c

^aArquitecto – Consultor BIM y CEO ibim – david@ibim.es , ^bArquitecto Técnico- Consultor BIM y CEO ibim – ivan@ibim.es ^cDoctora Arquitecta, villacampa@ibim.es.

Abstract

HBIM (Heritage Building Information Modelling) is a planning, designing, building, and operating buildings process in which digital tools are used to create a detailed three-dimensional model of the building. In the Master Plan for Alcala de Xivert castle (promoted by Diputación de Castellón and carried out by ibim-Balaguer), the HBIM has allowed to create a precise model of the castle. This model includes details such as precise geometry, materials, pathologies, construction techniques, structure or history. This model has improved the understanding of the castle and its historical context, which is essential for its conservation and future restoration.

The HBIM has also allowed professional collaboration between architects, archaeologists, historians and contract managers from the administration thanks to the open access available for all of them to the model and its information. All of this has contributed to enhanced better decision-making and a greater efficiency in the development process of the Master Plan in order to meet the contract objectives. This HBIM Model is intended to be used for the integral management of upcoming actions on the heritage site.

In conclusion, the use of HBIM methodology in a castle Master Plan leads to a more efficient planning, a better collaboration between the professionals involved, a better project management and to obtain detailed documentation of the castle.

Keywords: HBIM, Heritage, IFC

Resumen

HBIM (Modelo de información de edificios patrimoniales) es un proceso de planificación, diseño, construcción y operación de edificios en el que se utilizan herramientas digitales para crear un modelo tridimensional detallado del edificio. En el caso del Plan Director del castillo de Xivert (promovido por la Diputación de Castellón y llevado a cabo por la UTE ibim-Balaguer), el HBIM ha permitido crear un modelo preciso del castillo, incluyendo detalles como la geometría precisa, materiales, patologías, técnicas constructivas, historia estructura. Esto permite una mejor comprensión del castillo y su contexto histórico, lo que es esencial para su conservación y restauración.

El HBIM también ha permitido la colaboración entre diferentes profesionales, como arquitectos, arqueólogos, historiadores y responsables de contrato de la administración, permitiendo una mejor toma de decisiones y una mayor eficiencia en el proceso de desarrollo del Plan Director, incluyendo su acceso continuado por todos los agentes al modelo y su información técnica relacionada para la verificación del cumplimiento de los objetivos del contrato. Este modelo (IFC) se pretende utilizar para la gestión integral de las actuaciones venideras sobre el inmueble patrimonial.

En resumen, el uso del HBIM en un plan director de un castillo permite una planificación más eficiente, una mejor colaboración entre los profesionales involucrados, una mejor gestión del proyecto y una documentación detallada del castillo

Palabras clave: HBIM, Patrimonio, IFC

Introducción

El caso de estudio

El Castillo de Xivert es uno de los monumentos histórico-culturales más significativos de la arquitectura defensiva que conservamos en la costa de la provincia de Castellón. Está ubicado a 370 metros de altura sobre el mar, en una cima montañosa en el sudoeste de la Sierra de Irta, siendo un punto de control del territorio y de importantes vías de comunicación.

Iniciativa de la Diputació de Castelló (DIP)

El estado de conservación y nivel de intervención heterogéneo que presenta el castillo, así como el tamaño del conjunto ha llevado a la DIP a plantearse la necesidad de elaborar un Plan Director (en adelante PD) para recopilar información, diagnosticar su situación actual y proponer, valorar y priorizar las futuras actuaciones desde un punto de vista de conjunto. Para ello, la DIP propone el uso de la metodología HBIM (Heritage Building Information Modelling), todavía a nivel incipiente y experimental en el contexto nacional, que va dirigida hacia una gestión integral y sostenible del patrimonio histórico con base en su conocimiento y pasando por su mantenimiento, conservación y difusión.

El objetivo de la DIP es la continuidad de esta metodología y su uso en las futuras fases del ciclo de vida del monumento: proyecto, obras, mantenimiento y gestión del monumento.

1. Antecedentes

1.1. Estado del arte HBIM

El concepto del HBIM ha ido evolucionando constantemente, especialmente durante la última década. Si bien, esta metodología todavía requiere de una evolución teórica y, sobre todo, la aplicación práctica para poder establecer criterios claros y aplicarlo a procesos de conservación y mantenimiento más amplios (López et al. 2017; Jodán Palomar, I. 2019). En el marco de esta experimentación nace el Plan Director de Castillo de Xivert, que supone un gran reto metodológico en el contexto en el que se encuentra.

1.1.1. Reto: primer Plan Director HBIM de España

El desarrollo de un Plan Director de un monumento de estas características ha supuesto un reto importante ya que no existen referencias de trabajos similares por lo que ha sido necesario establecer todos los métodos y procesos necesarios para alcanzar el nivel de detalle que requiere un trabajo de estas características, sin perder de vista el objetivo principal del Plan Director.

Si bien, se considera que la creación de un modelo único de información centralizada que contenga todos los datos y aspectos analizados por los distintos agentes especialistas aporta un gran valor y facilita el trabajo colaborativo y la toma de decisiones.

1.2. Información de partida para el desarrollo del PD

Para el desarrollo del modelo HBIM que será la base para el PD, se ha partido de una nube de puntos realizada con dron y aportada por la DIP al equipo redactor del Plan. Como formato de trabajo se ha utilizado el formato e57 ya que respeta mejor los colores originales y supone una gran ventaja para la generación de documentación gráfica.

2. Metodología

2.1. Revisión del planteamiento inicial

El planeamiento inicial preveía el modelado del castillo a través de elementos propios de Autodesk Revit (muros, suelos, techos,...), si bien, tras realizar un primer modelado del castillo, se consideró que el resultado obtenido no permitía cumplir con los requisitos geométricos suficientes para llevar a cabo el PD ya que la geometría real de los muros es muy irregular (desplomes, cambios de sección, oquedades, etc.) y en muchos casos ruinoso.

Esto produjo la necesidad de buscar alternativas que permitieran el desarrollo de los trabajos con la precisión requerida en un trabajo de estas características y la centralización de la información en los modelos.

2.2. Justificación de la solución propuesta

La elección de la solución propuesta es el fruto del análisis de alternativas y de sus posibilidades. Se han llevado a cabo pruebas en las que se ha aumentado el nivel de detalle de varias partes del castillo para conseguir una mayor precisión geométrica, si bien, el resultado obtenido seguía sin ser satisfactorio.

Por ello, finalmente se pensó en el uso de la propia nube de puntos, ya que recoge la información geométrica (desplomes, irregularidades, etc.) del caso de estudio de forma precisa.

La metodología propuesta tiene un carácter innovador por lo que ha sido necesario realizar una serie de pruebas para optimizar los procesos y posibilitar el correcto desarrollo de los estudios previos, diagnóstico y planes de actuación del presente Plan director

2.3. Metodología de desarrollo de los modelos: generación de mallas a partir de la nube de puntos

Este proceso de generación del modelo consiste en el tratamiento de la nube de puntos y el desarrollo de un mallado que permite obtener información planimétrica con la textura real de los elementos y, además, realizar mapeados directamente sobre el modelo. Se trata de un sistema experimental sobre el que se va investigando simultáneamente a su desarrollo, por ello supone un proceso de trabajo lento ya que se han tenido que hacer diversas pruebas para poder optimizar los flujos de trabajo en relación al objetivo perseguido y a través del cual se obtienen archivos de trabajo muy pesados que es necesario fraccionar para su adecuado manejo.

A continuación, se define el proceso para la generación del modelo:

2.3.1. División y limpieza de la nube de puntos según la zonificación del castillo:

Se ha dividido la nube de puntos en tantos fragmentos como zonas se han definido en el castillo. De esta forma, se puede trabajar con las nubes adecuadamente ya que conjuntamente tenían un peso excesivo. También, se ha realizado un tratamiento de la nube, eliminando el ruido y limpiando manualmente aquellas partes que producían distorsión con el software CloudCompare y las distintas funcionalidades que tiene esa herramienta para ello.

2.3.2. Generación de las mallas

A continuación, se han generado los modelos de malla de cada una de las nubes de puntos divididas. Para la adecuada visualización del castillo se han generado dos tipos de mallas que se solapan:

- Malla de información: malla simplificada (respecto a la malla texturizada procedente de la nube de puntos), se exporta a .dxf para trabajar en Autocad e incorporar capas necesarias para dotar de información al modelo. Se crea una capa, y se divide la malla de triángulos, por la intersección de

todas las propiedades que tiene cada elemento (zonificación, orientación, tipo de elemento, estudio técnica constructiva, estudio estratigrafía, estudio patología, estudio alteraciones). Esta malla se ha reducido considerablemente y en función del tamaño del archivo de cada una de las partes principalmente ya que estos tienen que ser manejables para poder trabajar con ellos. Se han realizado reducciones de hasta el 95% en función del modelo y de la parte concreta del castillo y la complejidad de la misma.

- Malla texturizada (sin simplificar). En este modelo texturizado es posible visualizar la textura de los muros del castillo en verdadera magnitud según la información recogida por el escáner. Esta malla tiene una calidad de 2mm por lo que permite visualizar los elementos adecuadamente en aquellas partes en las que la nube tiene la calidad suficiente y no tiene manchas oscuras. Esta malla texturizada ha servido de apoyo al equipo de arquitectura y arqueología para la realización de los estudios previos.

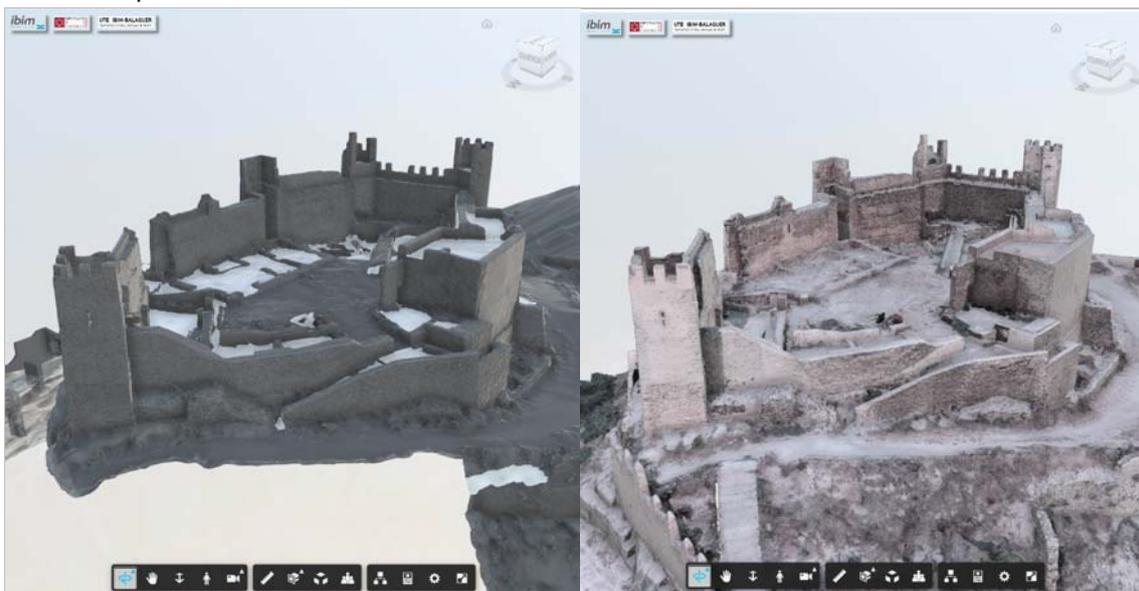


Fig. 1 Ejemplo de malla de información (izq) y malla texturizada (dch.) Ambas se superponen. Fuente: propia. 2022

Con la propuesta de modelado actual, se ha dispuesto de un modelo de malla texturizado y sobre una réplica de esta malla con la información geométrica, se han elaborado y procesado los mapeados de los estudios previos.

2.3.3. Optimización de la visualización de las mallas e incorporación de la información

Para una adecuada visualización de los modelos y la información 2D obtenida de ellos se ha tenido que pasar por múltiples procesos: desde la nube de puntos, a AutoCAD, Revit, IFC y visor WEB – Periscope (Ver Fig. 2 Flujo de trabajo). Inicialmente la malla obtenida en DXF se insertaba en Revit, como familia, pero no se conseguía que fuera sensible a los filtros de vista, y por lo tanto, no se podían obtener las láminas con los distintos estudios. Tras múltiples intentos fallidos, la creación de caras DirectShape con programación desde los triángulos (3DCara) de los archivos DXF fue lo que permitió que fuera modificada su visualización por los filtros de vistas y colorearse según las propiedades de los elementos. Se han generado más de 50 modelos (uno por cada elemento del castillo) con sus correspondientes archivos en distintos formatos (e57, fbx, nwd, dxf, dwg, rfa, rvt) y los modelos federados de conjunto.

En cada modelo de elementos del castillo (rvt), la rutina de Revit, lee el archivo dxf del elemento, y crea una familia (rfa) de triángulos DirectShape por cada capa de la malla simplificada (DWG convertida en DXF) y de información de dicho elemento. La rutina inserta, en el modelo del elemento del castillo, las familias generadas, y transfiere la información de las capas a los parámetros correspondientes. A su vez genera varios DXF que sirven de base para la creación de contornos. Para ello, según el contorno a obtener, unifica capas que no intervienen, ya que la rutina crea aristas, que sean visibles gráficamente, en los encuentros de

capas distintas. Dichos DXF de contornos se insertan como tales (ya que no es necesario que cambien de color con los filtros de vista) en una familia (rfa), que a su vez se inserta en el modelo (rvt) del elemento.

Al tratarse de una malla continua, las aristas son la consecuencia de dotar de información a una parte concreta de la malla. Por ejemplo, para generar las aristas de los elementos se ha dado propiedades de orientaciones y divisiones. A partir de cada división según un tipo de información concreta se generan las aristas que son visibles tanto en el modelo (3D) y como planos (2D). La gestión de esta información con representación 3D se ha realizado a través de la codificación de cada parte (concatenación de códigos) y sistematización de los procesos.

Se han generado cinco tipos de contornos:

- Contorno de orientaciones y divisiones
- Contornos de técnica constructiva
- Contorno de estratigrafía
- Contorno de patologías
- Contorno de alteraciones

Así, para la visualización del modelo con las aristas de los elementos se deberán desactivar todos los contornos a excepción de los de “orientaciones y divisiones”. En cada estudio se activa el contorno correspondiente junto con las mallas.

Además, los modelos en ifc también disponen de toda esta información ya que la posibilidad de estar en formato abierto era una de las premisas iniciales.

2.3.4. Modelado de objetos puntuales

La malla descrita anteriormente incluye los recintos del castillo (Albacar y Alcazaba) y la vivienda reconstruida y restaurada del castillo. El resto de los elementos del poblado se han modelado con muros de forma tradicional debido a que la gran cantidad de vegetación no permite obtener datos de detalle ni realizar los estudios de detalle de los elementos. Esto ha llevado a una definición geométrica menos exacta pero que permite su localización y conocimiento de las dimensiones generales.

Por otro lado, en el modelo de mallas se han incluido aquellos objetos puntuales que no se visualizaban adecuadamente en la nube y cuyas características permiten definirlos con detalle como son los paneles informativos, los vallados, las barandillas, etc. Estos elementos se han modelado de forma tradicional incluyéndose en el modelo.



Fig. 3 Cartel informativo y barandilla modelados de forma tradicional sobre los modelos de mallas. Fuente: propia. 2022

2.3.5. Inclusión de información en el html

Para vincular el modelo BIM del castillo con la información albergada en el html, los elementos del modelo contienen un parámetro con URL, donde se aportan códigos del elemento seleccionado en cuanto a documentación general y específicos del elemento, técnicas constructivas, estratigrafías, patologías, etc. De esta forma se vincula el castillo y sus partes con la documentación tradicional de un PD.

Para que la web muestre la información correspondiente a cada elemento, toda la documentación se ha albergado en una carpeta de almacenamiento siguiendo una nomenclatura estricta con códigos separados por “_” de forma que se muestren aquellos coincidentes con el elemento seleccionado. A continuación, se muestra la codificación de uno de los documentos con la codificación empleada para filtros al inicio:

EA-F_DE01_A0701_TorreTaleca-MaterialesYTecnicasConstructivas.pdf

2.3.6. Recursos materiales y flujo de trabajo

Para el desarrollo de los procesos descritos se ha utilizado un elevado número de softwares, así como procesos de intercambio de información. A continuación, se muestra un diagrama de flujo de trabajo donde se han incluido los softwares empleados para cada fase, los agentes implicados y los intercambios de información realizados.

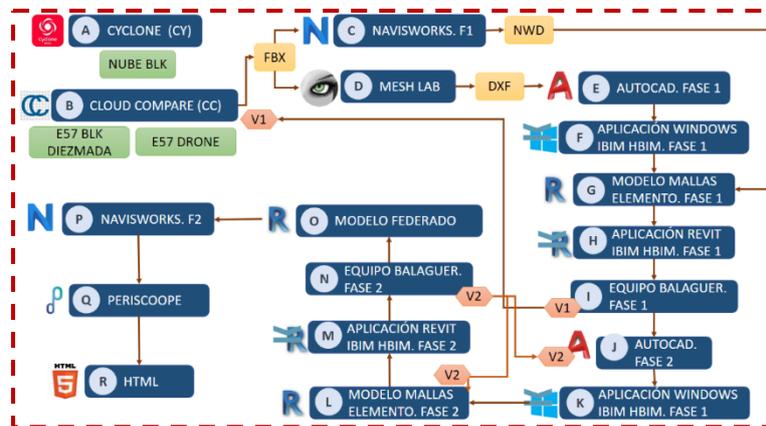


Fig. 4 Flujo de trabajo para el desarrollo de la metodología HBIM en el Castillo de Xivert Fuente: propia. 2022

3. Resultados obtenidos

El proceso descrito, es costoso y meticuloso, si bien, el esfuerzo queda recompensado por los resultados óptimos en cuanto a la representación del monumento y la gestión de los datos.

3.1. Resultado a nivel geométrico

La solución obtenida ha sido un modelo con gran exactitud geométrica ya que se trata de mallas que representan de la forma exacta el volumen de las construcciones y paramentos existentes.

Esta solución ha permitido alcanzar un nivel de detalle muy alto y realizar un análisis geométrico completo del castillo. Además, tiene la ventaja de poder obtener tantas vistas o secciones como sea necesario para realizar un análisis completo del castillo, asegurando en todo momento la verdadera magnitud, inclinaciones, etc. de los elementos que lo componen. Por otro lado, la disposición de un modelo de malla 3D ha permitido extraer superficies y medidas que han servido de base para algunos de los planes de actuación como el Plan de Conservación.

No obstante, a pesar del trabajo de limpieza y mejora de la nube de puntos, existen algunos paramentos que, por la calidad de la misma y las condiciones en la toma de datos se ven muy oscuros o con ruido lo que dificulta su visualización y la realización de los estudios previos directamente sobre la información del

modelo texturizado. En estos casos ha sido preciso hacer fotografías de calidad, con dron y con cámara de fotos, para poder distinguir las técnicas y fases con detalle.

3.2. Resultados a nivel de información

La inclusión de información en los modelos generados ha sido la base para la generación de los mapeados de los estudios previos.

Para ello, se han establecido una serie de parámetros con una serie de valores posibles en función de cada uno de los estudios.

Para asegurar que todos los elementos tienen la información de los parámetros completa se ha seguido el siguiente criterio:

- Parámetros completados con información: son parámetros de los que se dispone de información y que ya se han completado
- Parámetros completados con "---": son parámetros para los que no aplica esa información y por lo tanto no se completarán (valor nulo).

De esta forma ha podido detectar fácilmente los parámetros que estaban por completar evitando que existan faltas de información.

Los parámetros incluidos para la realización de los estudios previos han sido los siguientes:

Tabla 1 Parámetros incluidos en el modelo

Parámetro	Descripción
EA.RC_CodigoCompleto	Compuesto por el valor de otros tres parámetros con el fin de poder hacer agrupaciones (EA.RC_Codigo1Sector; EA.RC_Codigo2Zona; EA.RC_Codigo3Elemento)
EA.RC_ExteriorInterior	Poder distinguir entre superficies exteriores e interiores de la malla y poder filtrar
EA.RC_NombreElemento	Nombre completo del elemento según la zona de arquitectura
EA.RC_Orientacion01	Orientación de la superficie / paramento: NN, NE, NO, SS, SE, SO, EE, OO o "--" (Sin orientación, para suelos).
EA.RC_Orientacion02	Tipos de elementos según orientación (fachada, cara interior del muro, azoteas, pavimentos, etc.)
EA.PA_Alteracion	Código de la alteración (valores predefinidos)
EA.PA_AlteracionCompleto	Código y nombre de la alteración para poder filtrar con leyendas de código y nombre (para visualización de leyendas)
EA.PA_AlteracionNombre	Nombre de la alteración
EA.PA_Patologia	Código de la patología (valores predefinidos)
EA.PA_PatologiaCompleto	Código y nombre de la patología para poder filtrar con leyendas de código y nombre (para visualización de leyendas)
EA.PA_PatologiaNombre	Nombre de la patología
EA.PA_NivelGravedad	Nivel de Gravedad de las patologías
EA.EC_FaseConstructiva	Código de la fase constructiva
EA.EC_FaseConstructivaCompleto	Código y nombre de la fase constructiva para poder filtrar con leyendas de código y nombre (para visualización de leyendas)
EA.EC_FaseConstructivaNombre	Nombre de la fase constructiva
EA.MA_TecnicaConstructiva	Código de la técnica constructiva (valores predefinidos)
EA.MA_TecnicaConstructivaCompleto	Código y nombre de la técnica constructiva para poder filtrar con leyendas de código y nombre (para visualización de leyendas)
EA.MA_TecnicaConstructivaNombre	Nombre de la técnica constructiva
EQ_CodigoCompleto	Parámetro compuesto por los códigos de los parámetros: EQ_Sector; EQ_Subsector; EQ_Area

EQ_NombreArea	Nombre completo del elemento según la zona de arqueología
PC_FaseActuacion	Fase de actuación del plan de conservación
PC_UrgenciaActuacion	Nivel de urgencia de actuación del plan de conservación

Los parámetros se han introducido bien a un elemento completo del castillo (a la malla completa) o parte de la malla cuyas divisiones se han realizado en función de las características del elemento constructivo (patologías, técnicas constructivas, etc.).

El desarrollo del modelo a partir de mallas ha permitido integrar y consultar la información en la propia malla del modelo, realizando los mapeados a partir de esta información (patologías, técnicas constructivas, etc.) sin necesidad de postprocesado como hubiera sido necesario con un modelado tradicional a partir de elementos.



Fig. 5 Representación del estado de conservación por elementos del castillo. Fuente: propia. 2023

3.2.1. Planes de actuación

La disposición de toda la información citada en el modelo ha facilitado el desarrollo de los planes de actuación y la futura comprensión de los mismos a través del modelo HBIM.

Toda esta información ha posibilitado incorporar mediciones por elemento, por tipos de paramento, por lesiones, etc. facilitando la toma de decisiones y la realización de una previsión presupuestaria de las acciones necesarias incluidas en los planes de actuación.

3.3. Documentación 2D

La documentación 2D se ha generado a partir del software de modelado, Revit. Los planos se han configurado en función de las necesidades y con base en los distintos contornos (definidos en el apartado de metodología) y filtros de vista basados en las propiedades de los objetos. De esta forma se han podido obtener planos 2D y visualizar en 3D toda la información del castillo, tanto a nivel de detalle de elementos, como a nivel de conjunto.

La información 2D generada ha podido plasmar los estudios previos realizados, pero, también la textura de los propios muros del castillo a partir de la malla texturizada.



Fig. 6 Montaje de láminas con filtros y modelo texturizado. Fuente: propia. 2022

3.4. Información centralizada

Con el objetivo de facilitar la consulta de la información generada como parte del plan director se ha generado un html vinculado en el modelo donde disponer de toda la información centralizada.

En este html se encuentran los estudios realizados del conjunto del castillo y de cada uno de sus elementos, así como vínculos a las técnicas constructivas, patologías, etc. que forman parte de cada uno de ellos.

Es una herramienta que facilita la consulta de datos a partir de enlaces localizados en el propio modelo BIM de información ya que permite un acceso fácil y rápido a la documentación de un elemento seleccionado en el modelo, sin necesidad de buscar entre una gran cantidad de información, sino que se accede directamente a la documentación concreta que corresponde al elemento.

Además, es dinámico, en el sentido de que, al actualizar la documentación de la carpeta de almacén se actualiza de forma inmediata y se dispone de la última información cuando se consulta desde el modelo.



Fig. 7 Muestra del html generado para albergar la documentación del PD (fichas, estudios, planes, etc.)

4. Colaboración y difusión

4.1. Modelo OpenBIM web

Dentro del desarrollo del contrato se ha considerado de gran importancia la colaboración entre los distintos equipos y especialistas que participan en el desarrollo del PD.

Para ello, se ha puesto a disposición de todos los agentes el modelo BIM del castillo en una plataforma web en el que se puede visualizar tanto la geometría como la información del modelo.

4.2. Participación ciudadana

Con el objetivo de usar el modelo para participación ciudadana y poder dar difusión al PD realizado, se está trabajando en el desarrollo de un modelo simplificado para el uso de la ciudadanía. En este modelo, consultable desde cualquier dispositivo móvil, se podrá visualizar la información del PD generada in-situ y entender así los estudios realizados.

4.3. Integración de las futuras intervenciones

Para la integración de las intervenciones a desarrollar como parte del PD, se proponen dos líneas de trabajo en función de las características de las mismas:

- Intervención con modificaciones en la geometría de los elementos e incorporación de otros nuevos: Para el desarrollo de estos proyectos futuros se propone el modelado a través de elementos al igual que se ha hecho con ciertos elementos y modificaciones que se han producido en el castillo respecto a la nube de puntos inicial (recrecido o modificación de la coronación de muros, incorporación de elementos de protección como barandillas, señalética, etc.)
- Intervención de restauración en las que el objetivo es eliminar. En este caso, al no modificarse la geometría o modificarse mínimamente, la actualización de los modelos consistirá principalmente en la actualización de la información contenida en ellos en cuanto a patologías, técnicas, etc. Adicionalmente, y si se considera necesario, como parte de este tipo de intervenciones podría editarse ligeramente la geometría de la malla para representar lo ejecutado.

5. Conclusiones

El trabajo sobre el castillo de Xivert ha permitido el desarrollo de una metodología innovadora cuyo objetivo ha sido poder recoger toda la información a nivel geométrico del castillo a partir de la nube de puntos. De esta forma se ha evitado la pérdida de información geométrica que supone un modelado tradicional a partir de elementos en un edificio de estas características.

Además, esta metodología ha permitido la obtención de documentación 2D con la precisión que es requerida para edificaciones patrimoniales.

El desarrollo de este PD ha supuesto un reto y un gran esfuerzo para todos los participantes, la DIP y el equipo de desarrollo, por el alto grado de innovación del mismo a nivel no solo provincial, sino estatal.

Por otro lado, la integración y uso de aplicaciones web para el desarrollo del PD (visor ifc web, Persicoope) y la conexión con una herramienta de datos externa (Excel) ha supuesto una ventaja para poder realizar simulaciones de estudios o análisis y analizar los resultados. Además, esta posibilidad ha abierto la interacción con el modelo a agentes que no están familiarizados con la tecnología BIM y que no disponen de herramientas ni softwares para poder consultar los modelos.

5.1. Limitaciones y futuras líneas de investigación

Pese al resultado obtenido que se considera exitoso, han existido algunas limitaciones que es necesario tener en cuenta:

- La nube disponible para el trabajo, al no la metodología descrita la prevista a seguir inicialmente, tiene algunas limitaciones en ciertas partes. Para trabajos de características similares o mejoras del presente trabajo, sería necesario disponer de un levantamiento con nube de puntos precisa y teniendo en cuenta el soleamiento (sombras, etc) para que pueda visualizarse correctamente y con detalle suficiente todas las partes del castillo. La nube disponible para el trabajo, al no estar pensada inicialmente para aplicar la metodología HBIM, tiene algunas limitaciones en ciertas partes.
- La metodología de trabajo es novedosa y, por tanto, ha habido aspectos como el peso de los archivos, que ha limitado el desarrollo de algunas partes teniendo que hacer múltiples divisiones de mallas.
- El proceso de coordinación entre equipos ha requerido de múltiples intercambios de información para alcanzar el resultado requerido, lo cual ha ralentizado el desarrollo general del PD.
- El modelo completo del castillo con las mallas texturizadas es muy pesado, lo cual dificulta en ocasiones su visualización y manejabilidad.

Por otro lado, se considera que la metodología propuesta tiene gran interés y que se podría seguir desarrollando para continuar mejorándola. Por ello se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Revisar el sistema de gestión de mallas para poder aligerarlas y favorecer la manejabilidad de los modelos.
- Optimizar el proceso de obtención de mediciones de la malla ya que actualmente el cálculo se hace sumando las caras de los polígonos que forman la malla por lo que la superficie es mayor que la superficie calculada como paramente plano.

Nota: este trabajo ha sido desarrollado por la UTE IBIM BALAGUER - Plan Director del Castillo de Xivert (Ibim Building Twice + Balaguer-Vicén arquitectos) en el marco del contrato "PLAN DIRECTOR PARA LA CONSERVACIÓN Y USO PÚBLICO DEL CASTILLO DE XIVERT MEDIANTE METODOLOGÍA HBIM" Exp. 2020_P_4071, de la Diputació de Castelló. Como parte de la iniciativa de la DIP en este contrato, también se ha contado a una asistencia técnica específica especialista en patrimonio y HBIM.

Referencias

JODÁN PALOMAR, I. (2019). *Protocol to manage heritage-building interventions using Heritage Building Information Modelling (HBIM)*. Tesis Doctoral: Universitat Politècnica de València

LÓPEZ, F.J., LERONES, P.M., LLAMAS, J., GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J. AND ZALAMA, E. (2017), "A Framework for Using Point Cloud Data of Heritage Buildings Toward Geometry Modeling in A BIM Context: A Case Study on Santa Maria La Real De Mave Church", *International Journal of Architectural Heritage*, Vol. 11 No. 7, pp. 965–986.

PÉREZ RODRÍGUEZ, PABLO (2017), "Tratamiento de datos masivos 3D con software libre" TopCart. Revista del Colegio Oficial de Ingeniería Geomática y Topográfica. Vol XXXVII, No 175

https://cursotddg.com/wp-content/uploads/2018/01/perezrodriguezpablo_2018_cc_topcart175.pdf

ZHELIAZKOVA, MAIA – NABONI, ROBERTO y PAOLETTI, INGRID. (2015) A parametric-assisted method for 3D generation of as-built BIM models for the built heritage.

https://www.researchgate.net/publication/300787356_A_parametric-assisted_method_for_3D_generation_of_as-built_BIM_models_for_the_built_heritage

ABELLÁN-ALEMÁN, José María; DUQUE-CHASCO, Jesús Ángel; BUENDÍA-PELÁEZ, Juan Ignacio y GARCÍA NAVAS, Manuel (2022) "BIM EN EDIFICIOS DE CASI 1000 AÑOS", Libor de Actas, Congreso EUBIM 2022

CLOUDCOMPARE, https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Main_Page

POUX, FLORENT. (2022) [myux24r jizr 3tr 4E ktwjsyutz}](https://www.youtube.com/@MrPMeshLabTutorials)

Mister P., MeshLab Tutorials channel., <https://www.youtube.com/@MrPMeshLabTutorials>



MONITORIZACIÓN DIGITAL DE SEDES CORPORATIVAS: EL GEMELO DIGITAL DE TYPESA (MADRID)

Sánchez Allegue, Paloma^a, García Castañar, Javier^b, Tigreros Guerrero, Daniel^b y Hueros Castellano, Juan Carlos^b.

^aTYPESA – Departamento BIM, España, pasanchez@typsa.es , ^bTEYS – Acelerador Digital, España, jgcastanar@teys.es, datigreros@teys.es y jchueros@teys.es

Abstract

This article shows the development of a Digital Twin (DT) prototype of TYPESA's headquarters in Madrid. The process shows from the digitalisation of the real geometry of the building with laser scanner and 360 images, the BIM-AsBuilt modelling of the building, its visualisation in Virtual Reality platforms and the incorporation of IoT sensors with the aim of providing tools for decision making and implementing simulation and prediction capabilities. The sensors connected in this DT are lighting devices, associated with real-time weather data, which allow controlling and acting on the lighting demand of the office every day; and sensors for the occupation of the building's parking spaces, so as to manage the use of the free parking spaces and predict the hours of highest occupancy. Mainly, the generation and use of a DT is breaking through the AEC sector in a very significant way with the aim of improving the performance of assets, increasing sustainability by optimising consumption and available resources, monitoring data in an active way, making decisions about them in real time and establishing usage predictions.

Keywords: Digitalisation, BIM Model, Virtual Reality, Digital Twin, IoT, Innovation, Sensorisation, Sustainability, AEC.

Resumen

El presente artículo muestra la elaboración de un prototipo de Gemelo Digital (GD) de la sede principal de la empresa TYPESA en Madrid. El proceso muestra la digitalización de la geometría real del edificio con escáner láser e imágenes 360º, el modelado BIM-AsBuilt del edificio, su visualización en plataformas de Realidad Virtual y la incorporación de sensores IoT con la finalidad de proporcionar herramientas para la toma de decisiones e implementar capacidades de simulación y predicción. Los sensores conectados en este GD son dispositivos de iluminación, asociados a datos meteorológicos en tiempo real, que permiten controlar y actuar en la demanda de iluminación de la oficina cada día; y sensores de ocupación de las plazas de garaje del edificio, de manera que permita gestionar el uso de las plazas libres del aparcamiento y prever las horas de mayor ocupación. En definitiva, la generación y utilización de un GD está irrumpiendo en el sector AEC de manera muy significativa con el objetivo de mejorar el rendimiento de los activos, aumentar la sostenibilidad con la optimización del consumo y los recursos disponibles, monitorizar los datos de forma ágil, tomar decisiones sobre ellos en tiempo real y establecer predicciones de uso.

Palabras clave: Digitalización, Modelo BIM, Realidad Virtual, Gemelo Digital, IoT, Innovación, Sensorización, Sostenibilidad, AEC.

Introducción

Las tecnologías digitales han transformado rápidamente a la sociedad, posibilitando avances sin precedentes en todos los sectores. En el sector empresarial, la mayoría de las empresas persiguen conseguir una reducción de los costes o tiempos en sus procesos mediante la automatización de métodos o la incorporación de nuevas formas para tomar decisiones, que ya no sólo se basan en el análisis de datos en bruto, sino que ahora se realizan a través del análisis estadístico, simulaciones y predicciones.

Hoy en día, todas las empresas solicitan mayor velocidad, sofisticación y calidad en la toma de decisiones relativa a sus procesos, servicios o mantenimiento de sus activos. Por lo que, muchas de ellas, ya han comenzado a implementar técnicas y tecnologías emergentes de gran éxito siendo cada vez más demandadas como son el IoT (Internet of Things), el Big Data, el Machine Learning, la Inteligencia Artificial (IA), etc., realizando grandes avances de eficiencia, significado y conocimientos, en las empresas y en la sociedad en general (LIU, 2023).

En este respecto, el Gemelo Digital está siendo una de las tendencias tecnológicas clave en los últimos años, tratándose de una réplica o modelo digital o virtual de un proceso, producto, servicio o sistema, que recoge, muestra y simula el comportamiento de su homólogo real, con el objetivo de monitorizarlo, analizar su reacción ante determinadas situaciones o procesos y mejorar su rendimiento y eficacia. Por lo que, realmente se trata de una herramienta para realizar la gestión del activo físico, mostrar su estado y funcionalidades, e integrar las capacidades de simulación y puesta en marcha, así como los recursos con los que poder ejecutar las decisiones resultantes del mantenimiento de éste.

1. Antecedentes

Aunque suponemos a los Gemelos Digitales como una tecnología moderna y la consideramos englobada en la Industria 4.0, se trata de un término y sistema que ya comenzó a utilizarse en la década de los 60 por parte de la NASA, cuando replicaron sus naves espaciales para realizar simulaciones que reprodujeran las condiciones de sus naves reales dañadas. De esta manera, fueron capaces de determinar estrategias y tomar decisiones para culminar ciertas misiones con éxito.

Desde esta época, los Gemelos Digitales han evolucionado vertiginosamente sumando esfuerzos con otras tecnologías, con la aparición de los sistemas de diseño asistido en 2D, modelos 3D, diseño generativo y modelado paramétrico, modelos BIM (Building Information Modelling) y soluciones conectadas en la nube, posibilitando la colaboración, la administración de los proyectos y el acceso a bases de datos, etc., lo que dio realmente sentido a la creación de los Gemelos Digitales, como los entendemos hoy en día.

Cada elaboración o implantación de un Gemelo Digital es considerada única, y normalmente ocurre por etapas o fases, donde cada nivel aumenta en términos de complejidad e impacto empresarial. Un gemelo digital puede partir desde un simple modelo 3D, un modelo BIM o hasta un complejo sistema como una ciudad, donde cada uno de sus componentes se encuentran intrínsecamente vinculados o conectados a los datos operativos, de ingeniería, de construcción, etc., en cada una de las etapas de su ciclo de vida (GENG, 2022).

Actualmente, el presente de los Gemelos Digitales está marcado por la tecnología 3D de emisión en tiempo real, que trasciende de los modelos 2D o tableros de información. Éstos consiguen liberar los datos de múltiples orígenes distintos con el fin de mejorar la visualización, la transparencia y la toma de decisiones, hacia nuevas plataformas de procesamiento, que encuentran su máximo desarrollo sumando esfuerzos con técnicas de Realidad Virtual, Gestión del Dato, Programación y Automatización de procesos.

Esta nueva habilidad para interactuar con los datos en tiempo real ha cambiado la manera en que las empresas toman decisiones en cuanto al diseño, operación y mantenimiento de sus activos. El dominio de visualizar, poder simular operaciones o situaciones complejas, así como gestionar sus recursos, ha transformado la forma en que las empresas e ingenierías gestionan sus edificios, infraestructuras, instalaciones y operan, en cada una de ellas. (HE, 2021)

2. Metodología de creación del Gemelo Digital de la sede de TYPESA.

La creación de un gemelo digital puede realizarse desde el comienzo del proyecto de diseño hasta englobar todo el ciclo de vida de un activo, ya sea, de una edificación, infraestructura, sistema, etc. A lo largo de este proceso de vida, los gemelos digitales aportan nueva información constantemente, lo que, genera un mejor retorno de la inversión, gestión de sus recursos, ahorro de energía y optimización de su operación y mantenimiento.

Sin embargo, cabe señalar que los gemelos digitales no sólo se limitan a nuevos activos, sino que pueden crearse de activos existentes mediante la digitalización o captura de datos de la edificación o infraestructura ya construidas a través del escáner láser, fotogrametría o LIDAR, como ha sido el caso del edificio de la sede principal de la empresa TYPESA en Madrid, objeto de este artículo.

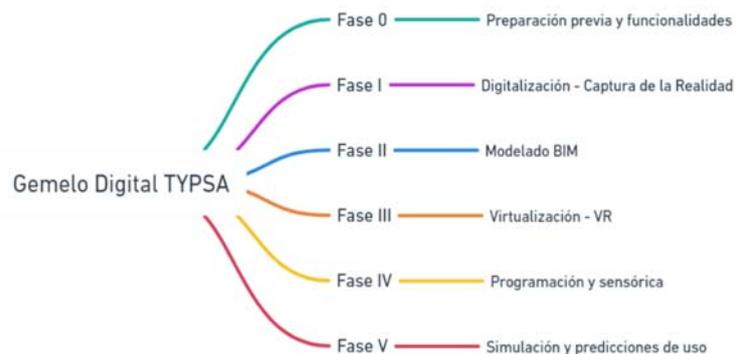


Fig. 01: Diagrama de la metodología empleada. Elaboración propia.

2.1. Fase 0: Preparación previa y funcionalidades del Gemelo Digital.

Esta fase previa consiste en una reflexión exhaustiva sobre el grado de innovación y digitalización que se busca alcanzar con la elaboración del Gemelo Digital, ya que, éste requiere de una construcción sólida, digitalización y modelado BIM que sustente el desarrollo de las fases posteriores de la metodología.

Tras un estudio detallado de las necesidades técnicas y visuales que se quieren llevar a cabo, se determina que el mejor software para la elaboración del Gemelo Digital, gracias a la libertad de programación de los *Blueprints* (programación visual por nodos), es *Unreal Engine 5*, (SORENSEN, 2022) descartando versiones anteriores, al no incorporar tecnología *Nanite*, necesaria para poder importar modelos con un elevado número de polígonos, como los derivados de los modelos BIM.

En esta fase, también se establecen las funcionalidades a desarrollar e incorporar en el Gemelo Digital de TYPESA, siendo las siguientes:

- Conexión y visualización de la meteorología actual en la ubicación del edificio para realizar una gestión efectiva de los termostatos y dispositivos de iluminación del edificio.
- Visualización de los sensores de humedad y temperatura localizados en las tres plantas del edificio en tiempo real.
- Control de los dispositivos de iluminación.
- Control y gestión de reserva de las plazas de aparcamiento.
- Control y gestión de reserva de las salas polivalentes del edificio.
- Navegación por el edificio con cámara libre y cámara orbital.

2.2. Fase I: Digitalización-Captura de la Realidad.

Esta primera fase consiste en la digitalización de todo el edificio, por lo que, se escaneó tanto la parte interior como exterior mediante tecnología de escáner láser. El escáner láser terrestre se trata de un escáner de largo o medio alcance, que utiliza la tecnología de la triangulación activa, donde el láser emitido rebota contra la superficie del objeto y devuelve el impulso láser al escáner. Un método de cálculo que combina la distancia entre el escáner y el objeto, la velocidad de la luz y el tiempo de vuelo del impulso

láser, dan como resultado la nube de puntos del objeto. Se trata de un escáner adecuado para obtener modelos precisos y de alta resolución de grandes superficies u objetos, idóneo para edificaciones e infraestructuras (Melendreras, 2022).

Para realizar esta digitalización se utilizó el escáner láser Leica RTC360. Se realizaron un gran número de estacionamientos uniformes a lo largo del edificio, en las plantas de sótano, planta baja, planta primera y planta segunda, entrando a todas las salas y despachos, a una resolución de 12mm/10m y a color.

Tras el volcado de datos, se procesaron y unieron todos los estacionamientos en el software de registro *Cyclone Register* para la creación de las nubes de puntos. Finalmente, la nube de puntos resultante se exportó en varias partes en formato .rcp, (fig. 02) para ser incorporada al software *Autodesk Revit* en la fase siguiente.



Fig. 02: Nube de puntos del edificio. Fuente: Elaboración propia.

2.3. Fase II: Modelado BIM del edificio.

En esta segunda fase, se realiza el modelo 3D del edificio mediante la metodología de trabajo BIM (Building Information Modelling), (THELEN, 2022). Por lo que, también requirió de una fase de preparación propia, pues fue necesario el establecimiento de los Requisitos de Intercambio de Información (EIR), elaboración del Plan de Ejecución BIM (BEP), integración de la nube de puntos en los softwares de modelos, georreferenciación de los modelos y establecimiento de coordenadas, y finalmente, la generación de los modelos en base a los requisitos identificados. Se decide realizar los modelos en el software *Autodesk Revit* por poseer elevados conocimientos sobre la utilización de éste.

Se requiere generar el modelo As-Built del edificio, por lo que, se establece el nivel de detalle (LOD) en un LOD300 en algunos elementos, llegando a un LOD400 en muchos de ellos y la división del modelo por disciplinas intervinientes, separando entre Arquitectura, Estructuras e Instalaciones. Las nubes de puntos también se integraron en un modelo independiente.

Finalmente, se obtiene un modelo federado, compuesto por el estado completo del activo, siendo el contenedor que tiene referenciado todos los modelos BIM actuales del proyecto. Se realizaron renderizados a través del programa *Enscape* (fig. 03).



Fig. 03: Modelo BIM-AsBuilt del edificio. Fuente: Elaboración propia.

2.4. Fase III: Virtualización-Software del Gemelo Digital

En esta tercera fase, se produce la generación final para el desarrollo del Gemelo Digital mediante la importación de los modelos BIM en el software *Unreal Engine 5*. Para ello, primeramente, fue necesario exportar los modelos de *Autodesk Revit* mediante el plugin *Datasmith*, en este formato. Tras la importación de los modelos en formato de *Datasmith* a *Unreal* es recomendable revisar el número de actores en la escena, objetos, geometría, estructura y materiales.

A continuación, se pasa a realizar la optimización de los elementos, tratándose de uno de los pasos más importantes para poder llevar a cabo el proyecto en distintos dispositivos digitales (PC, móvil, Tablet, Realidad Virtual, etc.). Es importante saber que los proyectos enfocados a dispositivos móviles y Realidad Virtual necesitarán mayor optimización y, por lo tanto, requieren de un mayor tiempo de trabajo que si realizáramos el proyecto para ordenador, principalmente por cuestiones relacionadas con la potencia gráfica.

Dentro del proceso de optimización, se van a diferenciar las siguientes cuestiones, relativas a las mejoras de las capacidades gráficas y visuales, como:

- a. **Materiales:** Siempre debemos utilizar materiales parametrizados, o crearemos y usaremos instancias de este. Los materiales creados en el propio programa de *Unreal* están más optimizados que los generados por *Datasmith* (en la exportación de *Revit*). Los materiales con transparencia y refracción al ser más complejos suelen ser bastante pesados, por lo que, debemos poner más atención en su optimización. Se crean materiales nuevos y optimizados para el proyecto.
- b. **Geometría:** La forma de la geometría de los elementos (cantidad de polígonos) importados debe ser revisada, valorada y analizada, decidiendo que objetos son más importantes. Todos aquellos objetos que no sean fundamentales se les puede reducir el número de polígonos, optimizando su geometría y, por tanto, disminuyendo su LOD. En este caso no fue necesario, pero en caso de necesitar una optimización extrema, ciertos objetos pueden ser remodelados desde cero con el software de modelado necesario (*Blender*, *3DsMax*, etc.). En este caso, se eliminaron algunos objetos innecesarios.
- c. **Iluminación:** Es importante saber qué luces va a necesitar el proyecto y su movilidad. Pues todas las luces dinámicas consumirán mucho más que las estáticas. Dependiendo del dispositivo para el que esté enfocado visualizar el proyecto, se usarán distintas técnicas de iluminación.

- i. Lumen: Es la técnica de última generación, fácil de realizar, pero bastante exigente, ya que, las luces y sombras actúan en tiempo real. No es recomendable trabajar con Lumen para proyectos de dispositivos móviles o VR.
- ii. Baking de luces: Como muchos softwares de renderizado, necesitaremos hacer un cálculo previo de iluminación para dejar “impresa” la luz del proyecto, de manera que le quitamos carga de trabajo al dispositivo, ya que, las luces y sombras no serán calculadas en tiempo real. Este proceso es bastante más complejo y nos lleva más tiempo de ejecución, ya que, se deben tener en cuenta cuántos objetos hay en la escena, cuántos de esos objetos son móviles o estáticos, revisar los *lightmaps* de los modelos importados, ajustarlos manualmente, etc. El cálculo de luces en este proyecto necesitó de varias horas de trabajo, ya que, la escena contiene gran cantidad de objetos. (fig. 04)



Fig. 04: Iluminación del edificio. Fuente: Elaboración propia.

- d. Debugging: A la vez de realizar la optimización, también es importante utilizar la herramienta Debug (para medir los FPS, Frame per Second). En el programa existen modos de visualización de optimización de la escena que nos ayudan a averiguar qué es lo que más carga visual contiene para actuar sobre ellos (fig. 05). Debiendo obtener unos 30 FPS mínimo para desarrollos para escritorio y 70 FPS mínimo en desarrollos para VR.

2.5. Fase IV: Programación y Sensórica

En estas dos últimas fases, es de vital importancia que tanto el departamento de diseño como el de programación trabajen paralelamente en sus respectivas tareas, ya que, muchas de ellas irán de mano, siempre manteniendo el orden establecido por el director del proyecto.

En este caso, el departamento de programación se divide en tres partes o tareas:

1. Comunicación con los sensores en tiempo real.
2. Creación de la lógica detrás de la interfaz de usuario.
3. Creación de la lógica de los distintos *Pawns* con los que el usuario navegará por el Gemelo Digital. (Un *Pawn* es la representación física de un jugador o entidad dentro del mundo virtual que permite su interacción con él)

Primeramente, se conectan los sensores a la red wifi del edificio y se procede a acceder a la API, desde *Blueprints* (sistema de programación visual, con el que cualquier usuario puede crear complejas funciones y elementos interactivos sin la necesidad de conocimientos en programación a través de un sistema de nodos) usando el plugin *VaRest* que nos permite hacer una comunicación relativamente sencilla a través de una URL tanto de los sensores como del propio servidor meteorológico de Google (fig. 06).

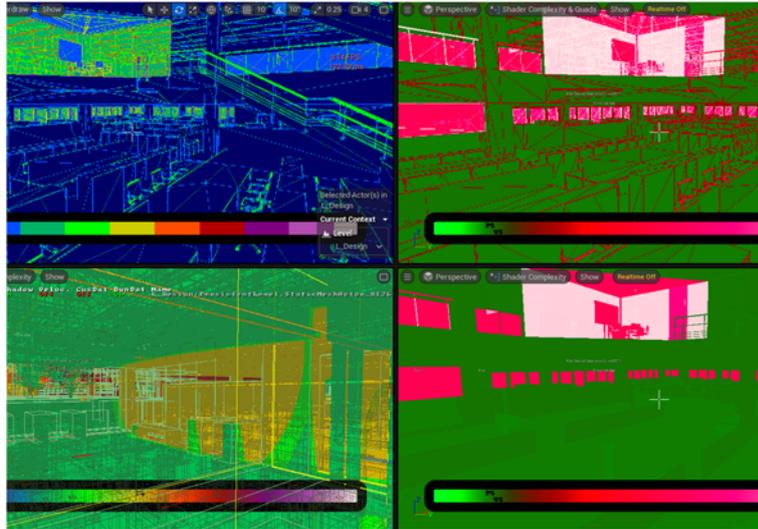


Fig. 05: Herramienta de Debugging. Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecida la conexión con el servidor, se procede a la creación de las distintas funciones que recogen los diferentes datos meteorológicos que se usarán como nubosidad, temperatura, velocidad del viento, etc. Estas funciones permiten un acceso directo de los valores, de modo que se puede acceder a ellos desde cualquier punto. Con esta información se modificarán los valores dentro del Gemelo Digital de manera automática, permitiéndonos visualizar el estado de las instalaciones y obtener una imagen bastante fiel de la realidad del edificio.

Con este desarrollo y conexión con los dispositivos de iluminación del edificio se espera que el Gemelo Digital comience a ser funcional muy pronto. Además, se prevé implementar softwares de tipo Machine Learning, con los cuales, el Gemelo Digital podrá actuar de manera automática, apagando y encendiendo las luces sólo en los momentos que realmente se necesitan, teniendo en cuenta los datos meteorológicos, el momento del año, inclinación del sol, etc. Al igual que, también se realiza la conexión al Gemelo Digital de los sensores de temperatura y humedad del ambiente de cada planta del edificio, lo que, permitirá controlar las máquinas de ventilación y extracción en determinados momentos.

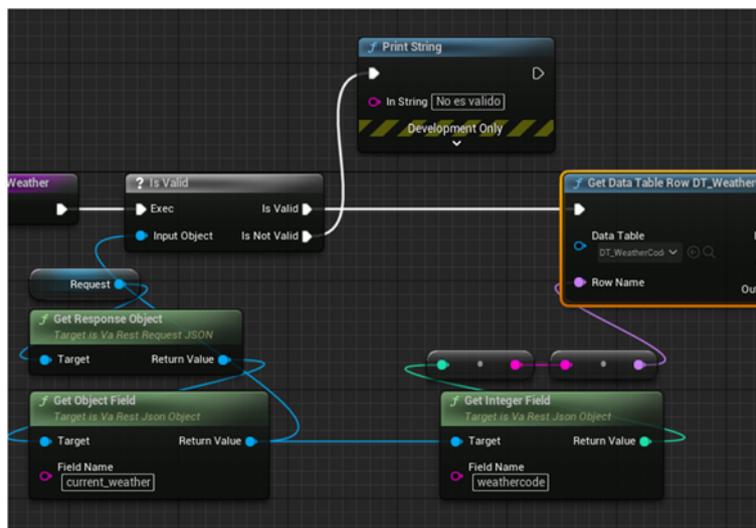


Fig. 06: Programación nodal y conexión de sensores. Fuente: Elaboración propia.

A su vez, también se han conectado sensores en varias plazas de aparcamiento del edificio. La conexión de estos sensores se ha realizado a través de la instalación de una red Lora (tecnología inalámbrica, al igual que WiFi, Bluetooth, LTE, SigFox o Zigbee, que emplea un tipo de modulación en radiofrecuencia, siendo una tecnología ideal para conexiones a grandes distancias y para redes de IoT en las que se necesiten sensores que no dispongan de corriente eléctrica de red) que permite reconocer si la plaza de aparcamiento se encuentra libre o utilizada y, además, se ha desarrollado un gestor de reservas, pudiendo reservar la plaza con un plazo máximo de 30 minutos antes.

Otra de las funcionalidades que se ha incorporado en el Gemelo Digital ha sido la conexión con el sistema de gestión de reservas de la empresa, lo que, permite la reserva de las 4 salas polivalentes. De esta forma, el usuario, visitante o trabajador, podrá entrar directamente al Gemelo Digital, reservar su zona de trabajo y plaza de garaje, y además conocerá la temperatura y parte meteorológico, sabiendo que el entorno de trabajo actúa automáticamente en consideración. Con este Gemelo Digital, el usuario o visitante, podrá conocer previamente las instalaciones u oficinas y orientarse dentro de ellas, buscando el camino que debe seguir o/y encontrando los puntos de interés antes de estar físicamente en las instalaciones, como salón de actos, sala de reuniones, cafetería, etc. Para esto, se han desarrollado dos tipos de movimiento: uno con vuelo libre y otro con cámara orbital, para facilitar el movimiento de cualquier usuario.

3. Resultados

En este apartado, se muestran las funcionalidades desarrolladas en el Gemelo Digital de la sede de las oficinas de TYPESA y su conexión con el activo real, permitiendo actuar sobre él y mejorar la gestión del consumo de energía, tiempo, etc. tanto del edificio como del tiempo y uso por parte del trabajador. En la imagen siguiente (fig. 07) se puede observar la interfaz gráfica generada con los botones a la izquierda de sensores atmosféricos, encendido y apagado de la iluminación, encendido y apagado del mobiliario, sensores del parking, y reserva de las salas de trabajo. Los sensores atmosféricos arrojan los datos de humedad y temperatura pudiendo seleccionarlos y visualizarlos en las diferentes plantas del edificio a modo de gráfica.

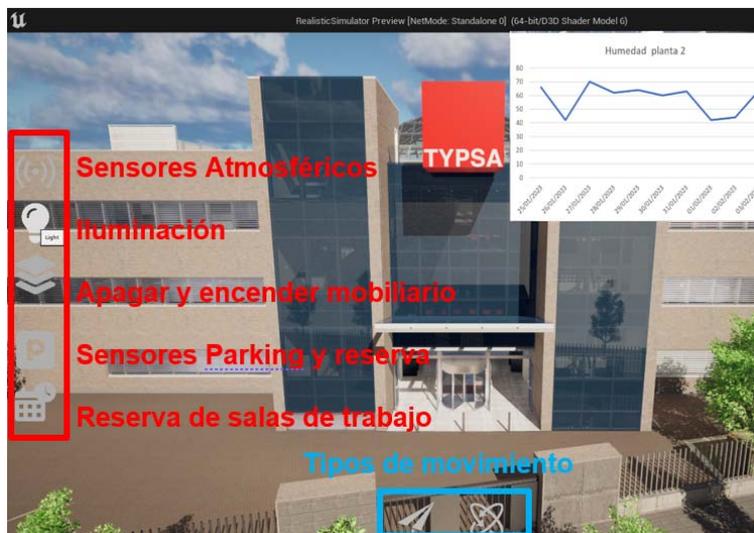


Fig. 07: Interfaz gráfica del Gemelo Digital. Fuente: Elaboración propia.

En la imagen siguiente, se observa la interfaz gráfica generada del parking, en este caso, se ha realizado a través de la incorporación de un plano 2D para mostrar visualmente y de forma sencilla, las plazas libres en verde y las plazas en rojo, ocupadas. De esta manera, el usuario o trabajador puede seleccionar la plaza deseada y reservarla a través del gestor desarrollado para ello (fig. 08) y conectado en este Gemelo Digital.

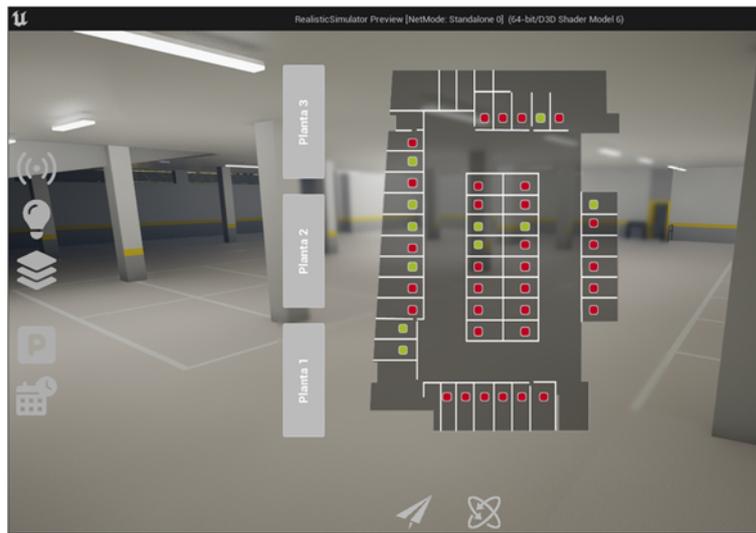


Fig. 08: Interfaz gráfica para disponibilidad de plazas libres y reserva. Fuente: Elaboración propia.

De igual forma, se ha creado un gestor de reserva de salas de trabajo (último botón de la izquierda), pudiendo elegir entre las 4 salas de trabajo. Este botón se encuentra conectado con el sistema de reservar de administración, por lo que, utilizamos el Gemelo Digital para actuar en el activo físico y bloquear esa sala en las horas de tiempo determinadas (fig. 09).

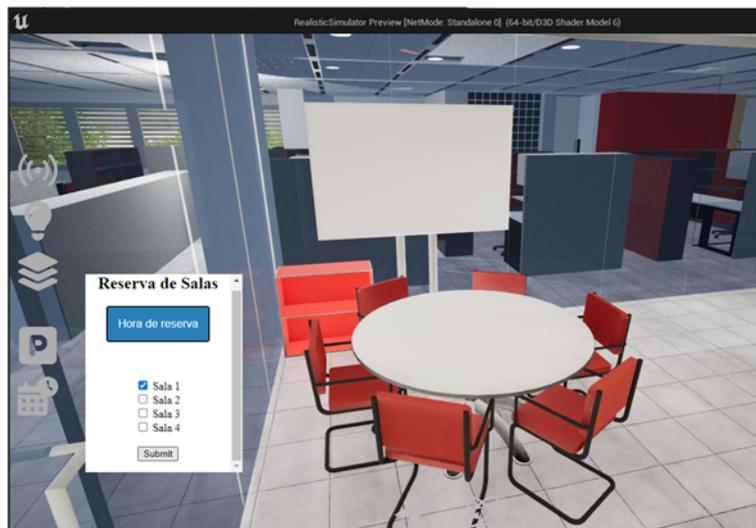


Fig. 09: Interfaz gráfica para la reserva de salas de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Por último, gracias a que el edificio ha sido modelado con gran nivel de detalle, en cuanto a estructura y mobiliario, puede servir para remodelar o reestructurar cualquier parte de su interior, prever eventos, realizar simulaciones de tránsito de personas, simulaciones de evacuaciones de emergencias, etc., lo que puede mostrar que ciertos muebles molesten para realizar este tipo de acciones, u optimizar los espacios para la incorporación de mayor número de puestos de trabajo.

4. Conclusiones

En el presente artículo se muestran el proceso de creación de la base e interfaz gráfica de un Gemelo Digital, para que el usuario pueda acceder a cierta información del activo a través de la sensorización implementada, como antesala a una futura implementación completa. Con estas acciones se persigue utilizar el GD como una herramienta para gestionar al activo, obteniendo potenciales ahorros, mejoras en términos de mantenimiento y, en definitiva, obtener una mayor eficacia operativa.

La habilidad para interactuar con datos en tiempo real ha cambiado la forma en que las empresas, ingenierías, estudios de arquitectura, etc., toman decisiones en cuanto al diseño, operación y

mantenimiento. El poder de visualizar y simular operaciones complejas con la tecnología 3D en tiempo real ha incrementado que los usuarios de ellas interactúen con los recursos disponibles de las mismas.

Las ventajas que suponen la implantación de este Gemelo Digital derivan de la conjunción de conseguir un entorno protegido y seguro para experimentar espacios futuros, planificar mantenimientos preventivos, reducir el margen de error y fallos, predecir resultados, optimizar el control de los parámetros de producción y la gestión eficiente de los recursos.

En definitiva, la generación y utilización de un Gemelo Digital para la monitorización de sedes corporativas busca mejorar el rendimiento de los activos, aumentar la sostenibilidad con la optimización del consumo y los recursos disponibles, monitorizar los datos de forma ágil, tomar decisiones sobre ellos en tiempo real y establecer predicciones de uso que, en infraestructuras, edificaciones, cómo este caso, es ya una realidad de la tenemos las tecnologías disponibles a nuestro alcance.

Referencias

GENG, R., et al. (2022) "Digital Twin in Smart Manufacturing: remote control and virtual machining using VR and AR technologies. *Struct Multidisc Optim*, vol. 65, nº 321. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03426-3>

HE, B. y BAI, K.J. (2021). "Digital Twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review". *Adv. Manuf.* Vol. 9, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1007/s40436-020-00302-5>

LIU, S. et al. (2023). "A blockchain-based interactive approach between digital twin-based manufacturing systems." en *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 175. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108827>.

MELENDRERAS, R., MARÍN, T., & SANCHEZ, P. (2022). "Comparative analysis between the main 3D scanning techniques: Photogrammetry, terrestrial laser scanner and structured light scanner in religious imagery: The case of the Crist of the Blood". *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 15(1), article no.18, pp. 1–23. <https://doi.org/10.1145/3469126>

SORENSEN, J.V. y JORGENSEN B.N. (2022). "Potentials of game engines for wind power digital twin development: an investigation of the Unreal Engine. *Energy Inform* 5 (suppl. 4) vol. 39. <https://doi.org/10.1186/s42162-022-00227-2>

THELEN A. et al. (2022). "A comprehensive review of digital twin-part1: Modelling and twinning enabling technologies. *Struct Multidisc Optim*, vol. 65. Issue 354. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03425-4>

INTEGRACIÓN DE MODELOS BIM EN REALIDAD AUMENTADA PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

Núñez-Fernández, Mario^a Collado-Mariscal, Darío^b; Bejarano-Torres, Marta^c; Cortés-Pérez, Alfonso^d y Cortés-Pérez, Juan Pedro^e

^aDepartamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, manuezf@alumnos.unex.es ^bAC2 Innovación, dario.collado@ac2sc.es , ^cAC2 Innovación, marta.bejarano@ac2sc.es , ^dAC2 Innovación, alfonso.cortes@ac2sc.es , y ^eDepartamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, jpcortes@unex.es

Abstract

The AEC (Architecture, Engineering and Construction) sector continues to provide worrying figures in terms of occupational accidents, aggravated by the lack of digitalisation of construction processes. On the other hand, it has been shown that the integration of health and safety in BIM and other technologies such as augmented reality (AR) brings significant benefits in the prevention of occupational hazards. However, this is a BIM use that is not yet being requested in a relevant way in tenders.

The aim of this paper is to establish the workflow for using augmented reality in risk prevention from the BIM model. In this study, a comparative analysis of different AR applications on the market is made. Subsequently, work processes are proposed to connect the health and safety information of a BIM model with some of these applications.

As application cases, the process of reviewing preventive measures and the risk of ATEX explosion present in a WWTP in its operation phase have been analysed in AR. These examples show how the processes are applied and the benefits they bring in terms of occupational risk management.

Keywords: *augmented reality, BIM, occupational risk prevention, health and safety, ATEX, WWTP, AR*

Resumen

El sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) sigue aportando valores preocupantes en términos de siniestralidad laboral, agravados por la escasa digitalización de los procesos constructivos. Por otro lado, se ha demostrado que la integración de la seguridad y salud en BIM y en otras tecnologías como la realidad aumentada (AR) reporta importantes beneficios en la prevención de riesgos laborales. Sin embargo, se trata de un uso BIM que aún no se está solicitando de forma relevante en las licitaciones.

El objetivo de esta comunicación es establecer el flujo de trabajo para emplear la realidad aumentada en la prevención de riesgos a partir del modelo BIM. En este estudio se hace un análisis comparativo de diferentes aplicaciones de AR en el mercado. Posteriormente, se proponen los procesos de trabajo para conectar la información de seguridad y salud de un modelo BIM con algunas de estas aplicaciones.

Como casos de aplicación se han analizado en AR el proceso de revisión de medidas preventivas y el riesgo de explosión ATEX presente en una EDAR en su fase de explotación. En estos ejemplos se expone el modo de aplicación de los procesos y los beneficios que estos aportan en la gestión de riesgos laborales.

Palabras clave: *realidad aumentada, BIM, prevención de riesgos laborales, seguridad y salud, ATEX, EDAR, AR*

Introducción

Uno de los aspectos más importantes dentro del ámbito laboral es el cuidado de la seguridad y salud de los trabajadores. Esta disciplina cobra especial importancia en los trabajos del sector de la construcción y de la gestión de infraestructuras e instalaciones, debido a que las consecuencias de los accidentes laborales dentro de estos ámbitos pueden llegar a ser severas, o incluso mortales. De hecho, fue en estos campos donde más accidentes laborales se dieron durante el transcurso del año 2022 (Confederación Sindical de CCOO, 2023). Son datos preocupantes, a los que se les suma la escasa digitalización de dichos sectores (Agarwal, 2016).

Dentro de estas áreas, destaca el número de accidentes laborales en jornada de trabajo que sufren los trabajadores durante las operaciones de recogida y tratamiento de aguas residuales (ASEPEYO, 2009) (INSST, 2019), entre las que se incluyen las tareas de gestión de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) durante su fase de explotación.

Por estas razones, resulta evidente que la digitalización de las actividades y operaciones que conforman estos trabajos ayudaría a reducir los niveles de siniestralidad, incrementando de esta manera la calidad de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores. Esta digitalización podría darse a partir de la integración de BIM y la realidad aumentada.

Cuando se integra la seguridad y salud en la metodología BIM se obtienen beneficios considerables, como la mejora en la identificación de tareas de alto riesgo (Jin, 2019) y de reconocimiento de áreas potencialmente peligrosas (Farghaly, 2021), la posibilidad de desarrollar simulaciones de escenarios y entrenamientos mediante implementación de técnicas de juego (Guo, 2017) y la mejora de la coordinación de diferentes disciplinas en un mismo entorno (Lin, 2017). Además, se han desarrollado guías y estudios para estandarizar la información de seguridad y salud dentro de la metodología BIM en fase de proyecto (Cortés, 2017) (Durán, 2021) (Cortés, 2020) (Collado, 2022). En los manuales BIM de la Red Ferroviaria Vasca (ETS) y de Ferrocarriles de la Generalidad Valenciana (FGV) también se propone la creación de un uso BIM para el análisis y la gestión de la seguridad y salud.

Sin embargo, los datos revelan que el uso BIM de seguridad y salud no se está solicitando en los pliegos de proyectos constructivos (Comisión Interministerial BIM, 2022).

Por otro lado, está la realidad aumentada, la cual se lleva a cabo a través de tabletas electrónicas, gafas o dispositivos móviles, y que consiste en la superposición de un modelo digital sobre un entorno físico real a través de la adición de diferentes capas de información (Cortés, 2020). Se ha demostrado que la realidad aumentada aplicada al sector de la construcción mejora la capacidad de los trabajadores para identificar y reconocer riesgos (Nnaji, 2020) (Akanmu, 2021), además de reducir el tiempo invertido en inspecciones de equipos de seguridad y medidas preventivas (Ramos, 2022) y agilizar la toma de decisiones en caso de riesgo grave e inminente (Xu, 2021). De este modo, la realidad aumentada actúa como extensión de la metodología BIM dentro de la fase de ejecución y mantenimiento de activos, disponiendo toda la información recogida en los modelos BIM de manera "in situ" sobre el mundo físico, lo cual contribuye a implementar y probar sobre el propio terreno las soluciones propuestas ante los problemas y cuestiones que surjan (Ramos, 2022).

No obstante, esta tecnología aún no se aplica de forma habitual, ya que carece de taxonomías que regulen su empleo (Davila, 2020). También se considera todavía una tecnología inmadura, para la cual existe una falta de habilidad por parte de técnicos y trabajadores a la hora de implementar su uso (Ramos, 2022).

Este trabajo expone el proceso seguido con el objetivo de integrar un modelo BIM en realidad aumentada para mejorar la prevención de riesgos laborales en una EDAR en su fase de explotación y mantenimiento, además de llevar a cabo el análisis de las principales herramientas existentes en el mercado para gestionar un modelo BIM en realidad aumentada. Para ello, se organiza de la siguiente manera: en la sección 1 se describe la metodología empleada, en la sección 2 se exponen los resultados obtenidos a través de tablas e imágenes y en la sección 3 se finaliza con la discusión de resultados y las conclusiones obtenidas.

1. Metodología

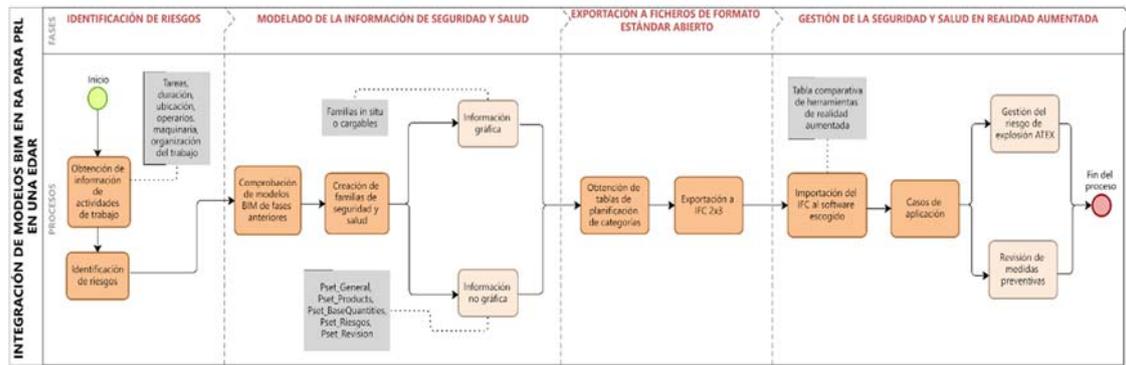


Fig. 1. Flujo de trabajo de la metodología. Fuente: Elaboración propia (2023)

1.1. Análisis de la información de seguridad y salud

Con el objetivo de identificar los riesgos presentes durante la fase de operación y mantenimiento de una EDAR se debe indicar las tareas que van a realizarse, registrando también su área de trabajo.

Para este trabajo, las actividades a estudiar se desarrollan tanto en la zona de predesbaste y pretratamiento como en la arqueta de recirculación y exceso de fangos.

Por esta razón, a partir del listado de riesgos laborales más frecuentes en el sector de la construcción (INSHT, 2000) y de la definición de los riesgos presentes en una EDAR (ASEPEYO, 2009), los riesgos estudiados en este trabajo son:

- Riesgo de caída de personas a distinto nivel
- Riesgo de explosión (ATEX)
- Riesgo de incendio

El método de evaluación de riesgos escogido es el especificado por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, que tiene en cuenta la probabilidad de que un accidente ocurra, y las consecuencias o severidad que dicho daño traería consigo para el trabajador (INSHT, 2000).

1.2. Modelado digital de la información de seguridad y salud

1.2.1. Generalidades del modelo BIM en fase de operación y mantenimiento

Considerando que el proyecto se ha desarrollado siguiendo la metodología BIM, llegada la etapa de operación y mantenimiento se debería contar con un modelo BIM detallado a partir del cual se puedan gestionar las tareas de explotación y mantenimiento del activo físico. Es por ello por lo que se comprueba que el modelo BIM cuenta con los requisitos mínimos para poder desarrollar el modelo de seguridad y salud. Así, en el caso de una EDAR, el modelo BIM debe estar formado por un modelo de coordinación, sobre el cual se vinculan otros modelos de diferentes disciplinas:

- Modelo de obra civil, albergando aquellas edificaciones y estructuras sobre las que puedan ser analizados los riesgos, como el edificio de explotación con las zonas de predesbaste y pretratamiento y la arqueta de recirculación y exceso de fangos.
- Modelo de las instalaciones, destacando la maquinaria fuente de riesgos, como las válvulas de la arqueta.
- Modelo de urbanización, con la topografía y entorno.

1.2.2. Inserción y creación de familias de seguridad y salud

Resulta necesario obtener una serie de familias a partir de las cuales puedan verse representados los elementos del activo real que formasen parte de la disciplina de seguridad y salud. Para este trabajo, estas familias son las que representan los extintores (medida preventiva asociada al riesgo de incendio), las barandillas de seguridad (medida preventiva asociada al riesgo de caída de personas a distinto nivel) y las zonas de riesgo de explosión ATEX.

Con el objetivo de posicionar estos objetos en la ubicación exacta sobre la que se encuentran sus homólogos reales, se emplea una nube de puntos de la EDAR en su fase de explotación.

1.2.3. Organización de la información de seguridad y salud en el modelo BIM

A continuación, se introduce toda la información relativa a los diferentes elementos que conforman el modelo a partir de la creación de parámetros. Debido a que estos parámetros van a ser incluidos en la mayoría de los objetos BIM de seguridad y salud, la mejor opción es crear un fichero de parámetros compartidos. De este modo, los parámetros han podido ser incluidos en las tablas de planificación, con el objetivo de que fuesen exportados a formato IFC 2x3 y asegurar la interoperabilidad.

Estos parámetros se organizan en diferentes grupos, estructurados en función del tipo de información. Para este trabajo, los grupos se han establecido según los del *Estándar de creación de objetos BIM eCOB* del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, además de crear otros nuevos en función de los requerimientos exigidos durante el desarrollo del trabajo. Por lo tanto, se definen los siguientes grupos:

- **Pset_General**, con información asociada a la metodología BIM que deben contener los objetos BIM (sistema de clasificación, descripción o tipo BIM).
- **Pset_Products**, con información de los productos de la construcción del elemento (fabricante o marcado CE).
- **Pset_BaseQuantities**, con información asociada con la descripción geométrica de los elementos, (altura, anchura o unidades).
- **Pset_Riesgos**, con información necesaria para llevar a cabo la identificación, evaluación y reevaluación de riesgos de cada uno de los elementos, así como las medidas preventivas propuestas. La estructura de estos parámetros sigue la propuesta por (Durán, 2021), añadiendo otros para la evaluación de riesgos de zonas ATEX, estructurados según propone (Cortés, 2021).
- **Pset_Revision**, con datos relativos al proceso de revisión de las medidas de seguridad en fase de operación y mantenimiento.

Por otro lado, se establece un sistema de clasificación mediante el cual identificar los objetos BIM del modelo de un modo único e inequívoco. Por ello, se emplea el sistema de clasificación GuBIMclass en su versión 1.2 y actualizaciones, ya que puede considerarse como el sistema más completo y el que mejor puede adaptarse a las necesidades de un modelo BIM de seguridad y salud.

1.3. Exportación del modelo BIM a ficheros de formato de estándar abierto

Para exportar los modelos BIM a ficheros de formato de estándar abierto IFC 2x3, en primer lugar, se obtienen las tablas de planificación de cada una de las categorías donde se encontraban las familias de las cuales se han querido extraer los conjuntos de Psets, de modo que estos últimos apareciesen reflejados dentro del modelo IFC. Para asegurar la exportación sin pérdida de datos, estas tablas se designan con el nombre del Pset.

En cuanto a lo que la configuración de la exportación a IFC desde Revit se refiere, en la pestaña "Conjunto de propiedades" se indica que solo se exporten las tablas de planificación que contengan *Pset* en el título, y en la pestaña "Avanzada" se selecciona la opción para incluir la elevación IFCSITE, con el objetivo de que se mantenga la cota a la que se sitúa el modelo BIM en el IFC.

1.4. Análisis comparativo de herramientas de realidad aumentada

Las ventajas que presenta la aplicación de la realidad aumentada en el sector de la construcción con metodología BIM han propiciado el desarrollo de numerosos programas. Es por ello por lo que se lleva a cabo una comparativa entre las diferentes soluciones existentes en el mercado. Para ello, se ha realizado una búsqueda entre las soluciones ofrecidas por diferentes casas comerciales, disponiendo la información en una tabla comparativa, donde se recogen aspectos tales como el nombre del programa, tipo de licencia, costes, tipo de fichero admisible, prestaciones, el modo de posicionamiento de modelos en la realidad y su precisión.

1.5. Gestión de la seguridad y salud a partir de la integración de un modelo BIM en realidad aumentada

Se han planificado a continuación dos propuestas o casos de aplicación.

1.5.1. Gestión del riesgo de explosión o riesgo ATEX

Se propone integrar la realidad aumentada para llevar a cabo la visualización del riesgo de explosión, o riesgo ATEX, el cual puede ser generado por aquellos componentes de sistemas de tuberías susceptibles de suponer una fuente de escape de metano.

Mediante esta propuesta se pretende se identifique el riesgo ATEX de manera directa, ya que se posibilita la representación visual de un riesgo invisible y de su zona de acción (dentro de la cual una chispa puede producir una explosión) mediante su asociación a un objeto BIM.

En primer lugar, se representa la información gráfica del riesgo ATEX en el modelo a través de la familia de una esfera generada en Revit, la cual se vincula con los elementos considerados como fuentes de escape, ya sean bombas, válvulas u otros equipos.

En segundo lugar, la información no gráfica se estructura en los parámetros de los grupos Pset_General, Pset_BaseQuantities, Pset_Products y Pset_Riesgos. Los valores asociados a los parámetros del grupo Pset_Riesgos se calculan y completan según las directrices expuestas en (Cortés, 2021), (Ibars, 2005) y (INSHT, 2003).

Seguidamente, teniendo en cuenta que se han registrado las coordenadas del activo real en el modelo BIM, se genera el modelo en formato IFC 2x3 georreferenciado para importarlo en el programa de realidad aumentada.

El flujo de trabajo propuesto para el desarrollo del trabajo en campo con realidad aumentada es el siguiente:

1. Posicionamiento del modelo en realidad aumentada, ya sea por coordenadas (en caso de contar con una antena y realizarse la actividad en el exterior) o manualmente con puntos de anclaje (en caso de que la actividad se lleve a cabo en interiores).
2. Visualización de las familias de riesgo ATEX sobre la localización real donde existe este riesgo.

1.5.2. Revisión de medidas preventivas

Se propone integrar la realidad aumentada para llevar a cabo la revisión de las medidas preventivas de la EDAR en fase de explotación por parte de un Técnico en Prevención de Riesgos Laborales.

Para el caso de este trabajo, las medidas preventivas objeto de revisión son los extintores y las barandillas de seguridad.

El primer paso sería representar estas medidas preventivas dentro del modelo BIM. Para ello, se cuenta con las familias de barandillas y extintores procedentes de un repositorio, las cuales se han adaptado para el propósito de este trabajo, disponiéndose dentro del edificio de explotación y control del modelo de seguridad y salud, de acuerdo con la ubicación de sus homólogos reales presentes en la depuradora.

En segundo lugar, la información no gráfica se recoge en los parámetros de Pset_General, Pset_BaseQuantities, Pset_Products y Pset_Revisión. Este último conjunto de propiedades permite que el

revisor reconozca el número de identificación del elemento y si este ya ha sido sometido al proceso de revisión. Además, en este grupo se podrían recoger tanto el vínculo a un formulario de revisión con el que realizar la inspección de la medida preventiva como el enlace al informe de resultados de dicha revisión (aspecto que queda fuera del alcance de este trabajo).

Seguidamente, teniendo en cuenta que se han registrado las coordenadas del activo real en el punto base del proyecto del modelo BIM, se genera el modelo en formato IFC 2x3.

El flujo de trabajo propuesto para el trabajo en campo con realidad aumentada ha sido el siguiente:

1. Visita del Técnico en Prevención de Riesgos Laborales a las instalaciones.
2. Posicionamiento del modelo en realidad aumentada, ya sea por coordenadas (en caso de contar con una antena y realizarse la actividad en el exterior) o manualmente con puntos de anclaje (en caso de que la actividad se llevase a cabo en interiores).
3. Comprobación visual de la existencia del objeto BIM asociado a la medida preventiva a estudiar, verificando que esta se dispone de tal modo que permita prevenir la aparición del riesgo.
4. Consulta de la información del objeto BIM a través de la inspección de sus parámetros.

2. Resultados

2.1. Zona de estudio

Con el objetivo de exponer los resultados de la aplicación de la metodología de trabajo previamente desarrollada, se escoge como caso práctico de instalación la EDAR de Coria, municipio de la provincia de Cáceres (España).

2.2. Modelado digital de la información de seguridad y salud

2.2.1. Información de referencia para el proceso de modelado

Los resultados que a continuación se exponen se han desarrollado a partir del modelo BIM de urbanismo, instalaciones y obra civil de la EDAR de Coria, cedido por la empresa AC2 INNOVACIÓN SL. Este modelo fue elaborado mediante el software Autodesk Revit en su versión 2020, tomando como referencia los planos *As Built* del proyecto y una nube de puntos generada a partir del escaneo de las instalaciones mediante un dron y láser escáner como sistema de contraste y control de la calidad del proceso de modelado.



Fig. 2. Modelo BIM y nube de puntos de la EDAR de Coria. Fuente: AC2 INNOVACIÓN SL (2022)

2.2.2. Organización de la información de seguridad y salud en el modelo BIM

- Riesgo de explosión o riesgo ATEX

Resultados de la generación de la familia que representa el riesgo de explosión o riesgo ATEX, concretamente aquellas ubicadas en la arqueta de recirculación y exceso de fangos.

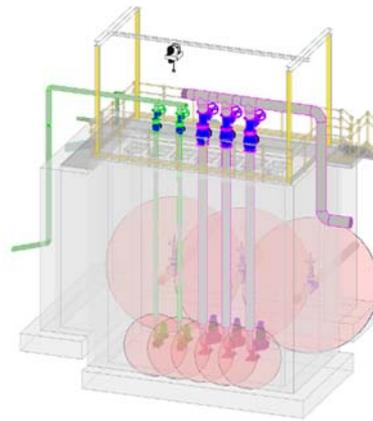


Fig. 3. Familia de riesgo ATEX en la arqueta de recirculación y exceso de fangos. Fuente: elaboración propia (2022)

- Medidas preventivas: extintores y barandillas de seguridad

Resultados de las familias que representan las medidas preventivas dispuestas dentro del edificio de explotación y control: extintores y barandillas de seguridad.

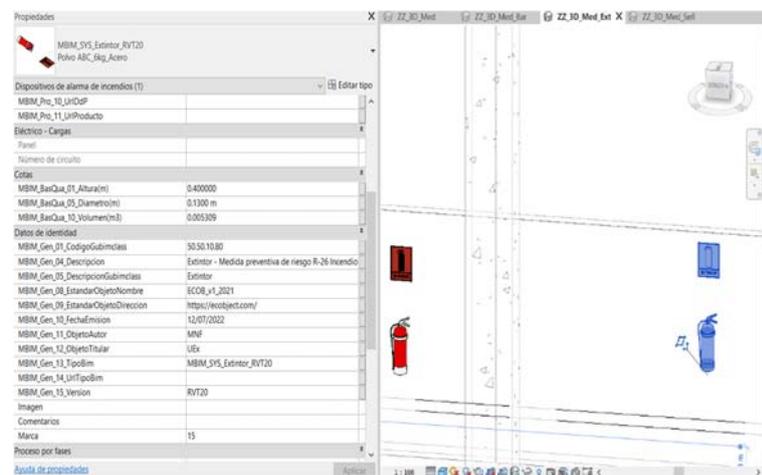


Fig. 4. Familia de extintores y parámetros asociados. Fuente: elaboración propia (2022)

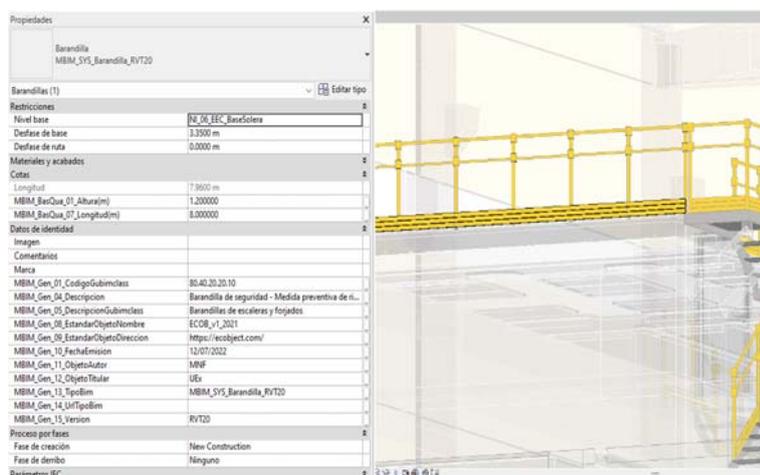


Fig. 5. Familia de barandillas de seguridad y parámetros asociados. Fuente: elaboración propia (2022)

2.3. Análisis comparativo de herramientas de realidad aumentada

Como se menciona en el apartado 1.4 del presente trabajo, se ha realizado una búsqueda entre las soluciones ofrecidas por diferentes casas comerciales, organizando la información recabada en la siguiente tabla comparativa (documento actualizado a fecha del 5 de marzo de 2023):

Tabla 1. Comparativa entre las soluciones de realidad aumentada en el mercado. Fuente: elaboración propia (2023)

Aplicación	Tipo de licencia	Costes	Tipo fichero	Prestaciones	Modo y precisión de posicionamiento
Augin	Permanente	Gratuita (Hay planes de pago con ventajas)	IFC, Revit, ArchiCAD, Tekla, TQS, SketchUp, Active 3D	- Filtros de visualización (dar transparencia, ocultar, seccionar) - Consulta de parámetros	- Puntos de anclaje (manual) - Marcador de referencia (QR)
Fuzor	1. Anual 2. Mensual	1. 1000 \$ /mes 2. 1150 \$ /mes	Revit, ArchiCAD, Navisworks, Civil 3D, Rhino 5-6-7, SketchUp, Pointcloud scan (.PTS), FARO Laser Scan (.FLS), Recap (.RCP), 3D Object (.FBX), IFC	- Consulta de parámetros - Toma de medidas - Interacción física con elementos del modelo para cambiar la posición y orientación de los mismos - Visualización del 4D de la obra	- Puntos de anclaje (manual) - Marcador de referencia (QR)
vGIS	Anual	1250\$ / año	Autodesk Build , Bentley iTwin, Esri, ArcGIS Enterprise, KML, .DAE, .DWG, .DXF, .IFC, .OBJ, Revit, SketchUp	- Consulta de parámetros, permitiendo acceder a vínculos y enlaces - Filtros de visualización (dar transparencia, ocultar, seccionar) - Inserción y reporte de comentarios sobre el modelo	- Puntos de anclaje (manual) - Coordenadas a. Precisión de 1cm con GNSS b. Precisión de 10cm sin GNSS
GAMMA AR	1. Anual 2. Mensual	1. 40 € /mes 2. 60 € /mes	Revit, IFC, Navisworks	- Consulta de parámetros - Filtros de visualización (dar transparencia, ocultar)	- Puntos de anclaje (manual)
Arki	Permanente	Gratuita (Hay planes de pago con ventajas)	3DSmax, Maya, Blender, Microstation, SketchUp, Archicad, Rhino, Cinema4D, Revit	- Filtros de visualización (dar transparencia, cambio de texturas)	- Puntos de anclaje (manual)
VT-LAB	Permanente	Gratuita (Hay planes de pago con ventajas)	IFC 2x3	- Consulta de parámetros - Toma de medidas - Filtros de visualización (seccionar)	- Puntos de anclaje (manual)
Trimble SiteVision	1. Anual 2. Mensual	1. 183 \$ /mes 2. 280 \$ /mes + hardware (\$ variable)	Trimble (VCL, TTM, TRB), IFC, CAD, DWG, GDB, SHP, XML, SketchUp	- Consulta de parámetros - Inserción y reporte de comentarios sobre el modelo - Filtros de visualización (dar transparencia, ocultar, seccionar) - Toma de medidas	- Coordenadas (GNSS) a. Precisión de pocos cm con VRS Now b. Precisión de 10-30 cm sin VRS Now

En los modos de posicionamiento “Puntos de anclaje (manual)” y “marcador de referencia (QR)”, la precisión dependerá de factores externos a las capacidades intrínsecas del programa, como puede ser la habilidad del propio usuario para ubicar el modelo. Sin embargo, se puede establecer que la precisión no será inferior a los 10 cm.

El software seleccionado ha sido **vGIS**, por las siguientes razones:

- Es compatible con un amplio rango de aplicaciones y herramientas BIM
- Es el software que ofrece mejores prestaciones en lo relativo a la precisión de posicionamiento. Además, la superposición del modelo en realidad aumentada se mantiene bloqueada y sincronizada con el mundo físico, por lo que el usuario puede realizar un recorrido por el modelo sin que este varíe

su posición. Asimismo, también existe la opción de posicionar el modelo de manera manual a través de puntos de anclaje si no fuese posible emplear el posicionamiento por coordenadas, situación que puede darse para el caso de trabajos en interiores.

- Permite consultar la información del modelo BIM, además de examinar vía Internet los enlaces y vínculos almacenados en sus parámetros.

Para el desarrollo de este trabajo se ha contado con una licencia de un año del programa completo.

2.4. Gestión de la seguridad y salud a partir de la integración de un modelo BIM en realidad aumentada

Para llevar a cabo las experiencias en realidad aumentada asociadas con las propuestas desarrolladas en el siguiente apartado se ha empleado una tableta electrónica Samsung Galaxy Tab S7, la cual cumplía los requisitos mínimos establecidos por vGIS para poder trabajar con realidad aumentada.

Además, se ha contado con la antena Leica Zeno FLX100 para mejorar la precisión en la georreferenciación del modelo BIM al emplear el sistema de posicionamiento por coordenadas, verificando de esta manera que la precisión que proporciona vGIS es centimétrica.

2.4.1. Gestión del riesgo de explosión o riesgo ATEX

Se exponen los resultados de aplicar la realidad aumentada para analizar el riesgo ATEX presente en una EDAR en su fase de explotación. Para este trabajo se estudia el riesgo ATEX en la arqueta de recirculación y exceso de fangos, por lo que los ejemplares del modelo de la familia del riesgo se encuentran en el interior de la arqueta (por debajo del nivel del suelo).

En esta propuesta se ha posicionado mediante GNSS, obteniendo una precisión centimétrica en la ubicación de las esferas ATEX “digitales” con respecto a los sistemas de tuberías “físicos” que pueden producir este riesgo.



Fig. 6. Familia de riesgo ATEX asociada a las válvulas de la arqueta de recirculación y exceso de fangos. Fuente: elaboración propia (2022)

De esta manera, se materializa sobre el entorno real un riesgo invisible, lo cual presenta un potencial importante para mejorar la concienciación sobre la presencia de riesgos no detectables a simple vista y sobre las consecuencias que sufrirían los trabajadores de las instalaciones caso de obviar dicho peligro.

2.4.2. Revisión de medidas preventivas

Se exponen los resultados de aplicar la realidad aumentada para revisar las medidas preventivas propias del edificio de explotación y control en relación con el riesgo de incendio y de caída a distinto nivel.

Como estas tareas se han desarrollado en interiores, el proceso de posicionamiento del modelo de seguridad y salud es mediante puntos de anclaje.



Fig. 7. Familia de la barandilla de seguridad. Parámetros de los Pset asociados. Fuente: elaboración propia (2022)



Fig. 8. Familia de un extintor. Parámetros de los Pset asociados. Fuente: elaboración propia (2022)

De esta manera, el modelo BIM en realidad aumentada permite superponer la información de los parámetros sobre los elementos reales del área de trabajo, por lo que la información “física” y “digital” quedan integradas en un mismo entorno. Queda fuera del alcance de este estudio el procedimiento de actuación tras la revisión de estas medidas preventivas, pero esto entraría dentro de los procesos regulados de gestión y seguimiento de la seguridad para este tipo de instalaciones.

3. Conclusiones

A la vista de la literatura consultada, se ha comprobado que las estadísticas sobre siniestralidad laboral en España, especialmente en los procesos de depuración de aguas residuales, arrojan unos resultados que invitan a reflexionar sobre la necesidad de implantar mejoras en la gestión de riesgos laborales, las cuales se vinculan con la digitalización de tareas. También se ha demostrado que tanto la metodología BIM como la realidad aumentada presentan grandes beneficios para la gestión de la seguridad y salud. Sin embargo, ni el uso BIM de seguridad y salud ni la realidad aumentada se demandan de manera generalizada en las licitaciones de proyectos constructivos.

Identificadas estas brechas de conocimiento, a través de la presente comunicación se ha pretendido establecer un procedimiento para integrar los modelos BIM en realidad aumentada con el objetivo de mejorar

la prevención de riesgos laborales, tomando como caso de aplicación una EDAR en fase de explotación y mantenimiento.

Para ello, se ha realizado un recorrido que ha englobado la confección del modelo BIM de seguridad y salud mediante la generación de familias y la organización estandarizada de sus parámetros, la exportación del modelo a formato IFC, la comparativa de programas de realidad aumentada con los que poder trabajar con BIM y dos casos de aplicación de esta tecnología en tareas relacionadas con la prevención de riesgos en una EDAR.

El principal beneficio que aporta la integración de un modelo BIM en realidad aumentada para la gestión de riesgos recae sobre el hecho de que esta tecnología permite identificar riesgos invisibles sobre el entorno físico (como es el caso de los riesgos ATEX). Este proceso ofrece un enfoque innovador, ya que podría emplearse como complemento para la concienciación de riesgos y formación de trabajadores en Prevención de Riesgos Laborales.

Para el análisis de medidas preventivas destaca la posibilidad de vincular la información organizada y estructurada en los parámetros del modelo con los elementos reales y físicos, mejorando en gran medida el tratamiento de esta.

Las posibles líneas de investigación que quedan abiertas estarían relacionadas con la integración del modelo BIM en realidad virtual para la gestión de la seguridad y salud, ya que esta tecnología ofrece ventajas, como la posibilidad de trabajo en remoto o la creación de escenarios para simulaciones, que bien merecen ser exploradas. Asimismo, se plantea como continuación de este trabajo la integración de las propuestas de realidad aumentada en la metodología de formación de trabajadores en Prevención de Riesgos Laborales, con objeto de validar los resultados y conclusiones expuestas.

Referencias

Agarwal, R., Chandrasekaran, S., & Sridhar, M. (2016). Imagining construction 's digital future. *McKinsey&Company, Exhibit 1*, 1–28.

Akanmu, A. A., Anumba, C. J., & Ogunseiju, O. O. (2021). Towards next generation cyber-physical systems and digital twins for construction. *Journal of Information Technology in Construction*, 26(July), 505–525. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.027>

ASEPEYO. (2009). *Guía de buenas prácticas depuradoras de aguas. Monografía Estudio EDAR.*

Collado-Mariscal, D., Cortés-Pérez, J. P., Cortés-Pérez, A., & Cuevas-Murillo, A. (2022). Proposal for the Integration of Health and Safety into the Design of Road Projects with BIM. *Buildings* 2022, Vol. 12, Page 1753, 12(10), 1753. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12101753>

Comisión Interministerial BIM. (2022). *Observatorio CBIM*. <https://cbim.mitma.es/observatorio-bim-en-espana/requisitos-bim-en-plegos>

Confederación Sindical de CCOO. (2023). *Análisis de las estadísticas de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales en España en 2022*. https://www.mites.gob.es/es/estadisticas/monograficas_anuales/EAT/2021/index.htm

Cortés, A., Cortés, J. P., & Prieto, P. (2017). *Guía para la integración del subproceso coordinación de seguridad y salud en fase de diseño en el proceso de elaboración de un proyecto de edificación desarrollado con metodología BIM* (Dr. Afonso Cortés Pérez, Dr. Juan Pedro Cortés Pérez, Dra. Paloma Prieto Muriel, & Control P, Eds.; 1st ed.).

Cortés, J. P., Roldán, P. A., & Torrecilla, J. Á. (2020). Informe de nuevas oportunidades basadas en la inversión en I + D + i para la digitalización de la construcción . Hacia la. *Oficina Para La Innovación*.

Cortés-Pérez, J. P., & Cortés-Pérez, A. (2021). ANÁLISIS DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS (ATEX) EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES (EDAR) MODELIZADAS CON METODOLOGÍA BIM. *Fundación Prevent*, 1–40.

Cortés-Pérez, J. P., Prieto Muriel, P., & Cortés Pérez, A. (2020). BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance. *Automation in Construction*, 1–14.

Davila-Delgado, J. M., Oyedele, L., Beach, T., & Demian, P. (2020). Augmented and Virtual Reality in Construction: Drivers and Limitations for Industry Adoption. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(7), 1–34. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001844](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001844)

Durán-Arroyo, M. I., Cortés-Pérez, A., Cortés-Pérez, J. P., Collado-Mariscal, D., & Cuevas-Murillo, A. (2021). Organización de la información de riesgos laborales en la fase de diseño de un activo desarrollado con metodología BIM: Pset_Riesgos. *Congreso Prevencionar*.

Farghaly, K., Collinge, W., Mosleh, M. H., Manu, P., & Cheung, C. M. (2021). Digital information technologies for prevention through design (PtD): a literature review and directions for future research. *Construction Innovation*. <https://doi.org/10.1108/CI-02-2021-0027>

Guo, H., Yu, Y., & Skitmore, M. (2017). Visualization technology-based construction safety management: A review. *Automation in Construction*, 73, 135–144. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2016.10.004>

Ibars, F. E., & Torrent, J. G. (2005). Clasificación de zonas en atmósferas explosivas. *Laboratorio Oficial José María de Madariaga*, 118. http://www.lom.upm.es/documentos/Guias/CETIB_Clasificacion_zonas_ATEX.pdf

INSHT. (2000). Evaluación de Riesgos Laborales INSHT. *INSHT, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*, 1–13.

INSHT. (2003). *Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo*.

INSST. (2019). *Actividades prioritarias en función de la siniestralidad*.

Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., & Dharmapalan, V. (2019). Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(11), 2637–2654. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2018-0379>

Lin, E. T. A., Ofori, G., Tjandra, I., & Kim, H. (2017). Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(6), 1350–1371. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0122>

Nnaji, C., & Karakhan, A. A. (2020). Technologies for safety and health management in construction: Current use, implementation benefits and limitations, and adoption barriers. *Journal of Building Engineering*, 29, 101212. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101212>

Ramos-Hurtado, J., Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Deraemaeker, A., & Valero, I. (2022). Proposal for the Deployment of an Augmented Reality Tool for Construction Safety Inspection. *Buildings*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/buildings12040500>

Xu, J., & Moreu, F. (2021). A Review of Augmented Reality Applications in Civil Infrastructure During the 4th Industrial Revolution. *Frontiers in Built Environment*, 7(June), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.640732>

USING BIM TO INCREASE THE EFFICIENCY OF ENERGY-DRIVEN RETROFITTING PROJECTS

Grego, Anne^a; Chance, Shannon^b y McAuley, Barry^c

^a School of surveying and Construction Innovation, Technological University Dublin, Ireland, anne.grego@csconsulting.ie, ^b School of Architecture and Spatial Planning, Technological University Dublin, Ireland, <https://orcid.org/0000-0001-5598-7488>, y ^c School of surveying and Construction Innovation, Technological University Dublin, Ireland, barry.mcauley@tudublin.ie

Abstract

The building sector is responsible for nearly 40% of global energy consumption. Many existing buildings have poor thermal insulation and low energy performance, hindering sustainability goals. Energy-driven building retrofitting could address this issue and implementing Building Information Modelling in retrofitting can reduce process time, costs, and waste associated with such undertakings. Yet, there is a lack of research and insufficient guidance for implementing BIM in energy-driven retrofitting. A BIM framework is presented to enhance decision-making processes during retrofitting. The aims of this study were to (1) identify BIM technologies and methodologies that could address existing barriers and improve efficiency in green retrofitting, (2) evaluate two BIM frameworks previously adopted in retrofitting projects, and (3) provide a set of recommendations. A comprehensive literature review was conducted to benchmark current retrofitting strategies and measures and identify the opportunities for implementing BIM. Then, a comparative analysis was conducted using two published case studies, to evaluate the BIM frameworks adopted in the research. The comparison provided an understanding of cases where BIM modelling and analysis tools were adopted, and costs and energy savings subsequently accrued; this facilitated the identification of the market's most cost-effective and energy-efficient retrofitting package at the time of publication.

Keywords: Building Information Modelling, Retrofitting, Energy Analysis, Building Performance

Resumen

El sector de la construcción es responsable de casi el 40% del consumo mundial de energía. Muchos edificios existentes tienen un aislamiento térmico deficiente y un bajo rendimiento energético, lo que dificulta alcanzar los objetivos de sostenibilidad. La rehabilitación energética podría abordar este problema, y la implementación del Modelado de Información de Construcción puede reducir el tiempo de los procesos, así como sus costos y los residuos asociados. Sin embargo, falta investigación y orientación suficiente para aumentar la eficiencia energética de los edificios con el uso de BIM. Los objetivos de este estudio fueron (1) identificar tecnologías y metodologías BIM para superar las barreras existentes y mejorar la eficiencia en las rehabilitaciones de forma ecológica, (2) evaluar dos marcos BIM adoptados previamente en proyectos de modernización y (3) proporcionar un conjunto de recomendaciones. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva del estado del arte para comparar las estrategias y medidas de modernización actuales e identificar las oportunidades para implementar BIM. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo utilizando los dos casos de estudio publicados, para evaluar los marcos BIM en los que se basa la investigación. La comparación proporcionó una comprensión de los casos en los que se adoptaron herramientas de análisis y modelado BIM; esto facilitó la identificación del paquete de rehabilitación más rentable y energéticamente eficiente del mercado en el momento de la publicación.

Palabras clave: Modelado de Información de Construcción (BIM), rehabilitación, sostenibilidad, análisis energético, rendimiento de los edificios

Introduction

Climate change is predicted to affect the planet unless significant changes are implemented; it is already impacting human and natural systems (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Most climate change global frameworks target the construction industry as it contributes to significant energy consumption and CO₂ emissions (Amini Toosi et al., 2020). The 2021 GLOBAL STATUS REPORT (2021) indicates the building sector is responsible for 36% of global final energy consumption, with operational emissions accounting for 28%. The Report reveals that CO₂ emissions from the building industry have spiked upward in recent years, and the industry is not on track to achieve the goals of the Paris Agreement. Efficient designs and energy-driven retrofitting are essential for meeting 2050 decarbonization targets (Lim et al., 2021). Energy efficiency policies have emerged since the 1970s (Economidou et al., 2020), but 42% of non-residential and 38% of residential buildings were built before this (RICS, 2020). Most do not meet current energy performance guidelines. There is a pressing need to upgrade the existing building stock, with only 0.2% of existing buildings in the EU being retrofitted to meet the current performance guidelines (EC, 2020). A large proportion of these will be demolished or will need to be retrofitted to limit energy consumption (Vilches, 2017).

Using Building Information Modelling (BIM) to develop sustainable buildings has proven successful in recent years (Sanhudo et al. 2021). BIM adoption can potentially reduce process time, costs, and waste, but adopting BIM in retrofitting projects is still relatively new (Lim et al. 2021). Guidance and recommendations for implementing BIM in energy-driven retrofitting are in short supply. There is a clear need for further research on achieving green retrofits efficiently by adopting BIM (Chong et al., 2017). This study helps close the gap by investigating how to implement BIM tools and methodologies to make energy-driven retrofitting more efficient and providing recommendations for BIM adoption.

1. Methodology

A comprehensive literature review was conducted. Involving databases such as Engineering Village, Science Direct, Emerald, and Google Scholar. Selected sources identified current energy standards and guidelines for energy-driven retrofitting, retrofit measures, role retrofit projects can play in reducing energy demands, current barriers and challenges, and BIM technologies and methodologies that can improve efficiency in retrofitting. Next, two existing retrofit case studies were determined to evaluate and compare effective BIM frameworks. These cases were selected for their differing BIM framework goals and the context of the case buildings, such as location, purpose, dimension, and age. Comparative analysis of the case studies along with the literature findings enabled recommendations for a BIM framework to enhance the decision-making process.

2. Literature Review

2.1. Building Retrofitting

Building retrofitting involves undertaking structural, architectural, mechanical, or electrical works to reduce the energy consumption and CO₂ emissions of an existing building (Bertone et al., 2018). The five main steps for retrofitting involve: (1) project setup and pre-retrofit survey, (2) energy audit and performance assessment, (3) identification of retrofit options, (4) site implementation and commissioning, and (5) validation & verification (Ma et al., 2012). Building owners may undertake such projects to extend a building's service life, enhance user comfort, increase the building's value, meet new energy standards (Amini Toosi et al., 2020), and decrease operational costs (Tom, 2016). Building retrofitting has the potential to help reduce the European Union energy consumption by 5-6%, as well as lower CO₂ emissions by 5% (European Commission, 2019).

2.2. Strategies, Standards, and Retrofit Measures

Today, countries across the globe are creating and implementing strategies to meet such strict retrofitting targets. The European Green Deal aims to cut carbon emissions by 2050 while achieving economic growth through effective resource use (Vilches, 2019). In 2020, the Renovation Wave Strategy was published by the Commission to double the rates of energy-driven retrofitting in the coming decades (European Commission, 2019). The Global Roadmap for Buildings and Construction 2020-2050 describes key policies and timelines for building retrofitting and aims to improve the retrofit rate by 30% by 2030 and 50% by 2040 (GlobalABC/IEA/UNEPM, 2020).

Further initiatives include Europe's Building Energy Rating (BER) system, which indicates a building's energy performance, including theoretical energy use and carbon dioxide emissions, rated from G (highest) to A1 (lowest) [16]. Directive 2010/21/EU of the European Parliament states that by 2020 all new buildings must be Nearly Zero Energy Buildings (NZEB) at an A2 BER (New Energy Efficiency and Ventilation Standards for Major Renovations to Buildings, 2021).

To target savings regarding energy-driven retrofitting, one can focus on improving the thermal envelope with various techniques to ameliorate the building performance by amending the building shell. These can include upgrading the windows and insulation of the wall and improving the airtightness of the building. After the energy demand is lowered, the building's services can be upgraded to provide more efficient temperature control (Sustainable Traditional Buildings Alliance, 2020).

In 2014 on a local level, the National Standards Authority of Ireland and others developed a Standard Recommendation (S.R.54) to guide energy retrofitting (National Standards Authority, 2014). It addresses the retrofit of the building envelope and services and provides technical guidance for each. It also provides technical information and recommendations for planning and installing retrofitting measures related to the walls, roofs, floors, ventilation, heating and lighting.

2.3. Retrofitting Barriers

Despite improvements, barriers to retrofitting still limit progress. Gholami (2017) identified obstacles and challenges of energy-efficient retrofit, such as

- Financial, including long payback periods and uncertainty about the cost-effectiveness of retrofitting measures applied during a project.
- Technical, including difficulty in assessing the actual thermal performance of the building envelope, sometimes due to the late adoption of building performance tools.
- Lack of demand and homeowner knowledge about potential advantages of energy efficiency retrofits

Other barriers to entry for homeowners include project budget, risk of not fully achieving predicted energy savings, and uncertainty regarding cost savings (Nikman Lee et al., 2020). This has presented the opportunity for BIM to enter the market.

2.4. Building Information Modelling (BIM)

BIM is a collaborative process supported by technologies, processes, and policies that interact with one another (Succar, 2009). Implementing such processes enables efficient project data management capture throughout a building life cycle (Sanhudo et al., 2018), by using analysis tools, authoring tools, and a collaboration platform (Lim et al. 2021). Authoring tools create a data-rich 3D model that captures information throughout the construction and design process, whereas analysis tools help input information into the model (Moakher, 2012). When paired with the BIM model, energy analysis and simulation tools enable seamless building performance evaluation (Moakher, 2012). Implementing BIM in the planning and design stage can help the decision process meet sustainability requirements; however, there is a need for improved interoperability between BIM software and energy analysis tools (Chong et al., 2017).

BIM modelling software allows the creation of a pre-retrofit model into which information can be integrated. Software used for this purpose includes Autodesk Revit, ArchiCAD, and Telka (Xu et al., 2021). Most existing buildings only have outdated 2D paper-based plan drawings, which limit evaluation and prediction processes. The 3D point clouds obtained from the surveying techniques must be converted into a digital model using commercial software. Creating a digital twin of an existing building facilitates more accurate visualization and collaboration (Göçer et al. 2016)

Further benefits include the ability to perform optimization and document decisions along the process. A 3D building model works as data storage and offers enhanced transparency between stakeholders and clients. Authoring software, such as Revit's phasing tool, provides the possibility to attribute phases to the model components, allowing the user to capture each stage of the renovation and store information throughout the building lifecycle (Sanhudo et al., 2018).

Further advantages include enhanced decision-making process and visualization, reduced costs and mistakes (Volk et al., 2014). Communication and collaboration may also be improved, as BIM is a multi-disciplinary collaborative working methodology. BIM processes and standards support using a Common Data Environment (CDE), a cloud-based data storage, allowing users to work simultaneously on models and files across multiple disciplines and stakeholders (Mondrup et al., 2012).

For a BIM process to be implemented successfully then, it must follow a recognised strategy such as that outlined in ISO 19650, which is a standard for managing information over the whole life cycle of a building. These standards set collaboration goals, project milestones, and deliverable strategies. The key requirements include establishing a CDE and having the lead appointed party create a BIM Execution Plan (BEP). The BEP provides evidence of the delivery team's capability to meet the Exchange Information Requirements (EIR). The EIR defines the modelling requirements for each stage of the project. Energy-focused projects such as building retrofitting can benefit from implementing BEPs and the creation of EIRs (UK BIM Framework, 2019).

2.5. Analysis Tools

Potential costs and energy savings are the most important factors in persuading consumers to undertake such projects (European Commission, 2019). Once a model of the existing construction is available, the building energy efficiency can be studied based on the information on the building geometry, construction materials, thermal bridges, etc. Data relating to the building and its surroundings (e.g., HVAC systems, weather and the simulation can be captured and shared through the model (Kamel and Memari, 2018). Simulation software can predict energy use and building performance based on the data collected from the as-built, and can identify potential retrofitting measures to implement. This is valuable for evaluating and comparing various retrofit scenarios.

BIM-based performance simulation software is diverse and can reduce building energy consumption (Habibi, 2021). The energy model can be imported into simulation interfaces and engines such as OpenStudio, IES-VE, EnergyPlus, etc., which can be complemented using plug-ins, allowing the user to analyse shadows, solar access, daylight, etc. However, some of these packages have poor interoperability with BIM software, and further development of exchange format files is needed (Carvalho et al., 2020).

Performance simulation software can save time and costs while reducing human error (Kamel and Memari, 2018). Such technologies can facilitate the presentation and storage of data output and organize energy-related information for a building. Research indicates that creating and using a data-rich 3D model offers a better understanding of the process on-site, limiting disruption for occupants of the buildings during energy efficiency retrofits (Chaves et al., 2017)

While BIM has gained significant traction within the retrofit sector, some ongoing concerns remain. These include weak interoperability between BIM and energy performance tools and uncertainty regarding captured data can lead to inaccurate decision-making processes (Succar, 2009). Other barriers involve BIM maturity,

i.e., further development is required regarding the construction and management phases (Elagiry et al., 2019).

3. Comparison of Case Studies

A comparative analysis between two retrofitting case studies where BIM frameworks were developed and implemented was undertaken to explore the literature review findings. Table 1 provides an overview of both the cases selected for analysis. Case A (Hu, 2018) was conducted with a building in the United States to demonstrate a proposed BIM framework and evaluate multiple retrofitting packages. The University of Maryland building was constructed in 1972 and underwent several major renovations. Case B (D'Angelo et al., 2019) was a residential house constructed in 1998 in Ireland's Aran Islands, with a renovation performed in 2008. Neither case had a BIM model available before the case study.

Table 1. Case studies for comparison

Title	Case A: Optimized Renovation Strategies of Education Building – a novel BIM/BPM/BEM framework	Case B: BIM-based Business Process Model To Support Systematic Deep Renovation Of Buildings
Author	Ming Hu	D'Angelo et al.
Year	2018	2019
Country	University of Maryland, US	Galway, Ireland - Madrid, Spain - Pavia, Italy
Case study overview	Educational Building 1972 US Notes: Several renovations No existing BIM model available	Residential House 1998 Aran Islands, Co. Galway, Ireland Notes: Renovated in 2008, No existing BIM model available
Process and phases	BIM-BPM-BEM Process 3 Phases: • BIM: Model and prepare for data extraction • BPM: Energy Analysis and measures • BEM: Environmental impact and package	BIM-based Business Process Model (BPM) 3 Phases: • Pre-energy modelling • Energy modelling stage • Renovation option stage

The following comparative analysis identifies key aspects of each and discusses primary differences.

3.1. Aim of Framework and BIM Adoption

The two cases had similar motivating factors, including using a BIM framework, but the framework was further developed in Case B. The framework for Case A was created to help the decision-makers identify the most energy-efficient and cost-effective strategies for retrofit while minimizing adverse long-term environmental impact. Case B aim to effectively assess design costs and increase the effectiveness of the design sustainability goals; the use of BIM was supported by the goal to improve communication, on-site coordination, and efficiency.

For Case A, the main indicators in identifying the best strategy were the energy-saving potential, carbon emission reduction potential, construction feasibility, initial costs, and annual cost savings. In Case B, the key indicators were broken down further to include aspects such as the payback period, discomfort time, and capital investments.

3.2. BIM Process Breakdown and Phases

Hu developed a "BIM-BPM-BEM Process" for Case A, which involves three stages, each defined by one of the acronyms from the framework's title.

- Phase 1 – Building Information Modelling (BIM) aims to compile data on existing building conditions and generate a 3D model (which was not previously available) to identify opportunities for improvement. Methods for acquiring information include field measurement, construction document review, etc.
- Phase 2 – Building Performance Model (BPM), where some retrofitting packages were compared based on the performance simulations associated with various retrofit measures.
- Phase 3 – Building Environment Model (BEM) to identify the best retrofit package by comparing the quality of outputs related to environmental impact.

In Case B, D'Angelo et al. created a procedure of three stages, named differently than in Case A.

- Phase 1 – Pre-energy Modelling Stage, for modelling the building based on existing building conditions and data captured using data acquisition technologies. In contrast to Hu's framework, no energy analysis was performed at this point.
- Phase 2 – Energy Modelling Stage focuses on evaluating the existing building's performance and simulating proposed measures, like Case A.
- Phase 3 – Renovation Option Stage, where the retrofitting options were compared and analyzed, and the best package was identified.

The Cases have many similarities; Case B has divided the steps such that all the energy analysis and simulations were performed by the end of Phase 2. Therefore, Phase 3 focused solely on preparing the most efficient and cost-effective package. Case A focused deeper on environmental impacts when identifying the best retrofitting package. Neither framework includes a planning stage, during which the possibilities for implementing BIM would be diverse.

3.3. BIM Methodologies

Revit was used as the modelling tool in both Cases. Although the software for energy and environmental analysis differed, they were equivalent. However, Case A did not specify a Common Data Environment, so it must be assumed that no CDE was used.

Case A did not mention BIM methodologies involving a BEP, any collaborative BIM platform such as a CDE, or any use of BIM standards. In contrast, Case B described step-by-step the creation of a BEP for building retrofitting projects. A BEP was not, however, included in the BIM framework. Case B used Zutec as a BIM platform to share information, presenting a standardised approach

3.4. Findings and Conclusion

The two Cases reported using the same standards and achieved similar findings. Both concluded that the energy and environmental impact models offered a clear indication of costs and energy savings to determine the best retrofitting measures and package to use. Hu observed the importance of interoperability between the building modelling and energy analysis software during the process. Similarities between the Cases, including positive results obtained from both frameworks suggest that the two methodologies have good foundations.

The main differences between Case A and B can be found in the BIM framework phase breakdown and differing focus. Defining the phases was more judicious in Case B, where the 3 phases each have a distinct purpose. In Case A, the stages were not organized to the same degree, and there was the scarce implementation of BIM methodologies and practices. Notably, the BIM framework in both Cases omitted any planning stage.

4. Results

An optimized BIM framework, illustrated in Table 2, has been developed based on key findings. This new framework aims to enhance decision-making processes for building retrofitting. It describes the steps from the planning phase to the package option stage. Some BIM methodologies and technologies are suggested for each of the corresponding phases. The list of BIM tools is non-exhaustive and is only meant to provide examples and guidance. Further investigation may be required to fully explore the available options in the market.

Table 2. Proposed BIM Framework

	1	2	3	4
Phases	Planning	Energy-Driven BIM Modelling	Energy Analysis	Retrofitting package options
Steps	<ul style="list-style-type: none"> Define goals and preliminary scope Definition of LOD Identify CDE Identify modelling and simulation software 	<ul style="list-style-type: none"> Acquire information and data from existing building Create BIM model Prepare model for data extraction 	<ul style="list-style-type: none"> Create energy analysis and impact on environment model Evaluate existing building's performance Perform simulation of proposed measures 	<ul style="list-style-type: none"> Combine best measures to create retrofit scenarios Identify best packages based on: cost-effectiveness, energy efficiency, environmental impact
Suggested BIM Tools	<ul style="list-style-type: none"> Create BEP CDE: BIM 360, Zutec 	<ul style="list-style-type: none"> Data Acquisition: laser scanning, photogrammetry, infrared thermography Modelling software: Revit 	<ul style="list-style-type: none"> Energy Modelling software: IES-VE, Sefaira, etc. Environmental impact and life cycle assessments: Tally Bill of quantities: Revit 	

4.1. Phase 1: Planning

A BEP, established in Phase 1, is prepared in line with the building retrofitting standards. The project deliverables will be determined for each phase of the process and will consider costs, time, and quality of construction. The roles and responsibilities of each stakeholder will be identified, along with relationships among them. This phase will allow decision-makers to identify opportunities for implementing BIM in the following phases in line with the project goals. The BEP will also guide the adoption of BIM software in the project. Interoperability between BIM software adopted in the following phases must be considered to ensure a smooth translation from the modelling software (Habibi, 2021). The LOD will also be defined in this phase. LOD 300 is sufficient for modelling a building for retrofitting, as it encompasses the material specification and HVAC systems (AlizadehKharazi et al., 2020).

The BEP will also reflect the information exchange requirements. Case B used Zutec as an online data storage and exchange platform, but several other effective open collaboration tools exist. The choice of a CDE, which will be used throughout the project, will also be done in this first phase.

4.2. Phase 2: Pre-energy Modelling

This phase aims to collect all the data concerning the existing building to create a 3D model appropriate for the energy analysis phase. The data is collected via site visits, field measurements, interviews, and a review of building history and construction documents. Data acquisition tools such as laser scanning, photogrammetry, infrared thermography, etc., can contribute to identifying information on the building fabric (such as materials, textures, and thermal bridges). If there is no available model of the existing building, the BIM model can be created based on the information collected. Some modelling tools gives the possibility to hold all the building information, including the building envelope's composition and the building performance, within the model. Finally, the model is prepared for data extraction for the next phase.

4.3. Phase 3: Energy Analysis

In this phase, the energy model will be created to evaluate the existing building's performance, allowing the decision-makers to identify improvement opportunities in energy uses. Energy simulations can then be done based on the retrofitting techniques chosen. IES-VE, Design Builder and Sefaira, are example of energy analysis tools which can be used for this stage and translate easily to, and from, Revit. (Mahmoud et al., 2020).

The energy model will then be used to assess the impact of environmental and global warming by applying different measures. As can be seen, this stage reflects Case B, as the total energy and environmental impact analysis is done before the final stage. There are multiple available BIM tools to perform such analysis, and they can be used after the implementation of the retrofit measures, during the post measurement and verification stage.

4.4. Phase 4: Retrofitting Package Options

This final phase aims to identify the best retrofitting package prepared in the previous phase. A detailed cost-benefit analysis should be designed considering the initial costs, payback period, and annual savings. Some modelling software such as Revit can be used to generate the bill of quantities to calculate the cost investments. Energy analysis software can assist to calculate energy and cost savings (D'Angelo et al., 2019). The scenarios should be compared based on cost-effectiveness, energy-saving potential, carbon emission reduction potential, and construction feasibility, considering disruption to the users.

The scenarios should align with the current and future needs of the occupants and take in consideration the future improvement opportunities. Finally, the best packages are prepared to be presented to the homeowners, for them to choose among the alternatives and make informed decisions.

5. Conclusions and implications

This research aimed to review the current guidelines, standards, and barriers in building retrofitting and examine how BIM can be implemented to improve efficiency. The paper presented BIM tools that can improve efficiency when adopted in retrofits, including analysis tools, authoring tools, and collaboration platforms. An optimized BIM framework reflecting key findings was presented to utilize BIM's capabilities to develop an efficient decision-making process. The framework outlines four phases, from planning to retrofitting package options, and suggests BIM methodologies and technologies for each of these phases.

The pre-energy modelling phase aims to collect data to create a 3D model appropriate for the energy analysis phase. The energy analysis phase evaluates the building's performance and assesses the impact of environmental and global warming. Finally, the retrofitting package options phase identifies the best retrofitting package through a detailed cost-benefit analysis, considering various factors.

The implementation of the framework could benefit the decision-makers. Adopting BIM from the planning phase would allow to identify the opportunities for implementing the tools and methodologies throughout the project, aligning with the goals and deliverables. The subsequent phases offer clear indications regarding the costs, energy savings, and environmental impact, through the various BIM technologies.

The complexity of building systems and the variability in building design and construction make it challenging to identify the most effective retrofitting strategies for different buildings. Therefore, the need for further research on evaluating the best retrofitting options and scenarios with BIM is critical to advancing sustainable building practices and achieving global climate goals.

References

H. AMINI TOOSI, M. LAVAGNA, F. LEONFORTE, C. DEL PERO, AND N. ASTE, Life Cycle Sustainability Assessment in Building Energy Retrofitting; A Review. *Sustainable Cities and Society*, 60, 2020.

- E. BERTONE, R.A. STEWART, O. SAHIN, M. ALAM, P.X.W. ZOU, C. BUNTINE AND C. MARSHALL, Guidelines, barriers and strategies for energy and water retrofits of public buildings. *Journal of Cleaner Production*, 174, pp.1064–1078. 2018.
- J.P. CARVALHO, L. BRAGANÇA AND R. MATEUS, Guidelines for analysing the building energy efficiency using BIM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588, p.022058. 2020.
- F.J. CHAVES, P. TZORTZOPOULOS, C.T. FORMOSO AND C.N. BIOTTO, Building information modelling to cut disruption in housing retrofit. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 170(6), pp.322–333. 2017.
- H.-Y. CHONG, C.-Y. LEE AND X. WANG, A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp.4114–4126. 2017.
- M. ECONOMIDOU, V. TODESCHI, P. BERTOLDI, D. D'AGOSTINO, P. ZANGHERI AND L. CASTELLAZZI, L., Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings. *Energy and Buildings*, 225, 2020.
- E. GHOLAMI, *Exploiting BIM in Energy Efficient Domestic Retrofit: Evaluation of Benefits and Barriers*. PhD thesis, University of Liverpool, p.296. 2017.
- Ö. GÖÇER, Y. HUA AND K. GÖÇER, A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping. *Building Simulation*, 9(5), pp.513–527. 2016.
- S. HABIBI, Role of BIM and energy simulation tools in designing zero-net energy homes. *Construction Innovation*. [online] 2021.
- O. HOEGH-GULDBERG, D. JACOB, M. TAYLOR, M. BINDI, S. BROWN, I. CAMILLONI, A. DIEDHIOU, R. DJALANTE, K.L. EBI, F. ENGELBRECHT, J. GUIOT, Y. HIJIOKA, S. MEHROTRA, A. PAYNE, S.I. SENEVIRATNE, A. THOMAS, R. WARREN, AND G. ZHOU. Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report, 2018.
- M. HU, Optimal Renovation Strategies for Education Buildings—A Novel BIM–BPM–BEM Framework. *Sustainability*, 10(9), 2018.
- E. KAMEL AND A.M. MEMARI, Automated Building Energy Modeling and Assessment Tool (ABEMAT). *Energy*, 147, pp.15–24. 2018.
- Y.-W. LIM, H.-Y. CHONG, P.C.H. LING AND C.S. TAN. Greening existing buildings through Building Information Modelling: A review of the recent development. *Building and Environment*, 200, 2021.
- M. LUCARELLI, E. LAURINI, M. ROTILIO AND P. DE BERARDINIS, BEP and mapping process for the restoration building site. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, pp.747–752. 2019.
- T.F. Mondrup, J. Karlshøj and F. Vestergaard, *Communicate and collaborate by using building information modeling*. Beirut, Lebanon: CIB W078 2012 Conference. 2012.
- Z. MA, P. COOPER, D. DALY AND L. LEDO, Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 55, pp.889–902. 2012.
- P.E. MOAKHER. Building Information Modeling (BIM) and Sustainability—Using Design Technology in Energy Efficient Modeling. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1(2), pp.10–21. 2012.
- M.S. NIKMAN LEE, S. MOHAMED, M.A. NASID MASROM, M.A. ABAS AND S.T. WEE, *Risk in Green Retrofits Projects: A Preliminary Study on Energy Efficiency*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 549, p.012084. 2020.
- L., SANHUDO, J. MARTINS, N.M.M. RAMOS, R.M.S.F. ALMEIDA, A. ROCHA, D. PINTO, E. BARREIRA AND M.L. SIMÕES, BIM framework for the specification of information requirements in energy-related projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(10), pp.3123–3143. 2021.
- L. SANHUDO, N.M.M. RAMOS, J. POÇAS MARTINS, R.M.S.F. ALMEIDA, E. BARREIRA, M.L. SIMÕES AND V. CARDOSO, Building information modeling for energy retrofitting – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, pp.249–260. 2018.
- B. SUCCAR, Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in construction*, 18(3), pp.357–375. 2009.
- A. TOM, Encouraging growth of sustainable buildings in Indian commercial sector using Energy Performance Contracting. Whitepaper available on Researchgate. 2016.
- A. VILCHES, A. GARCIA-MARTINEZ AND B. SANCHEZ-MONTAÑES, Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*, 135, pp.286–301. 2017.
- R. VOLK, J. STENGEL AND F. SCHULTMANN, Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in construction*, 38, 109-127. 2014.
- W. WU AND R.R.A. ISSA, BIM Execution Planning in Green Building Projects: LEED as a Use Case. *Journal of Management in Engineering*, 31(1). 2015.
- X. XU, T. MUMFORD AND P.X.W. ZOU, Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for

Using bim to increase the efficiency of energy-driven retrofitting projects. Grego, A; Chance, S; McAuley, B.

improving building energy performance. *Energy and Buildings*, 231, 2021.

European Commission, *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives.* [online] 2015.

European Commission, *New rules for greener and smarter buildings will increase quality of life for all Europeans.* 2019.

Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency, and the United Nations Environment Programme, *GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.* 2020.

Government of Ireland. *New Energy Efficiency and Ventilation Standards for Major Renovations to Buildings.* [online] 2021.

National Standards Authority, *Code of practice for the energy efficient retrofit of dwellings.* Ireland. Standard Recommendation S.R 54:2014. 2014.

United Nations Environment Programme, *2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector,* 2021.

UK BIM Framework, *Information management according to BS EN ISO 19560.* 2020.

Official Journal of the European Union, *Directive 2010/21/EU of the European Parliament.* [online] 19 May 2010.

RICS. (2020). *Energy efficiency of the building stock in the EU.*

Sustainable Traditional Buildings Alliance. [online] 2020.

ADAPTACIÓN DE CÓDIGO LOCAL DE DISEÑO DE SISTEMA DOMICILIARIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO CON BIM

Atencio-Castillo, Edison^{ab}; Pablo Araya, Francisco Oyarce^c; Felipe Muñoz-La Rivera^d, Lozano-Galant, Fidel^e y Lozano-Galant, José^f

^aEstudiante de doctorado, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) edison.atencio@alu.uclm.es, ^bProfesor, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) edison.atencio@pucv.cl, ^cIngeniero civil, Novobeam (Chile) proyectos@novobeam.cl, ^dProfesor, Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile) felipe.munoz@pucv.cl, ^eEstudiante de doctorado, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). ^fDoctor Ingeniero de Caminos, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM).

Abstract

The design of domestic drinking water and sewerage systems (DDWSS) is a group of activities based on local design guidelines. In the Chilean context, the design process still uses 2D inputs and developing several iterations in spreadsheets, demanding a high level of manual work. Moreover, the required design deliverables are realized in tables and drawings printed on paper. The application of BIM could facilitate this design process based on 3D models and parametrization. However, the BIM-DDWSS tools must be adapted to the local guidelines to comply with the transparency of the calculations performed and the required deliverables. This research presents a DDWSS case study supported by BIM modelling and parametric automation adapted to the Chilean guidelines. The results allow for saving man-hours of the designing process and taking advantage of a 3D overview of the whole DDWSS. It is expected that this article encourages engineers to adopt BIM and discuss a new way of establishing design requirements, which could, in the future, be based on BIM products.

Keywords: building information modelling (BIM), Parametric Visual Programming, Dynamo, Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP), domestic plumbing and sanitation.

Resumen

El diseño de sistemas domésticos de agua potable y alcantarillado (SDAPA) es un conjunto de actividades basadas en códigos de diseño locales. En el contexto chileno, el proceso de diseño sigue utilizando información bidimensional y desarrollando varias iteraciones en hojas de cálculo, lo que exige un alto nivel de trabajo manual. Junto con ello, los entregables de diseño requeridos son descritos en tablas y dibujos impresos en papel. La aplicación de BIM podría facilitar este proceso de diseño basándose en modelos 3D y parametrización. Sin embargo, las herramientas BIM-SDAPA deben adaptarse a las directrices locales para cumplir con la transparencia de los cálculos realizados y los entregables requeridos. Esta investigación presenta un caso práctico de SDAPA apoyado en modelación BIM y automatización paramétrica adaptada a las directrices chilenas. Los resultados permiten ahorrar horas de trabajo en el proceso de diseño y obtener una visión general en 3D de toda la SDAPA. Se espera que este artículo anime a los ingenieros a adoptar BIM y a debatir una nueva forma de establecer los requisitos de diseño, que en el futuro podrían basarse en productos BIM.

Palabras clave: building information modelling (BIM), Programación visual paramétrica, Dynamo, Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP), instalaciones domiciliarias de alcantarillado y agua potable.

Introducción

La industria de la arquitectura, ingeniería y construcción se encuentra en una constante adaptación en los medios tecnológicos y donde los avances en las tecnologías de información y comunicación (TIC) y modelado tridimensional (3D) han demostrado ser capaces de beneficiar significativamente a la industria (Wei, Chen et Wang, 2017).

La modernización en hardware, permite que software cada vez más sofisticados sean accesibles para empresas, estudiantes y profesionales que se adentran en la era tecnológica, mejorando la eficiencia, calidad y operatividad en el trabajo realizado dentro de las diferentes etapas de desarrollo de los proyectos de construcción (Khairulzaman et Usman, 2018). En este contexto se encuentra el BIM (Building Information Modeling), como un conjunto de procesos informáticos que fomentan el trabajo colaborativo, mejora la comunicación y el traspaso de información en un ambiente virtual (Loyola, 2019).

Con la integración de estas tecnologías muchos de los procesos que se basan en trabajo manual pueden ser automatizados y asistidos por softwares e incluso por inteligencia artificial, llevando diversas tareas y problemáticas como el diseño, dibujo, detalle e incluso la planificación a un cierto nivel de automatización (Khairulzaman et Usman, 2018). Sin embargo, algunos procesos de diseño de ingeniería siguen teniendo una alta manualidad en su desarrollo. Es el caso del diseño de sistemas domésticos de agua potable y alcantarillado (SDAPA) en el caso chileno (CNP, 2020 ; Khairulzaman et Usman, 2018) . Los estándares nacionales de diseño son procesados generalmente en planillas y los entregables de diseño son realizados en archivos CAD (2D) y tablas de datos. Esta tarea podría resultar aún más laboriosa cuando la envergadura de los proyectos es mayor y más compleja.

La integración de BIM y la parametrización de los elementos de diseño podrían servir como base para automatizar el proceso de diseño. De esta forma, el objetivo de este trabajo es automatizar el proceso de diseño de SDAPA, tomando como entrada un modelo BIM de la arquitectura de una edificación en Revit®. Luego, con esta entrada se genera proyecto de SDAPA a partir del procesamiento de parámetros de diseño soportado por el software de programación visual Dynamo®. El sistema de diseño obtenido, automatizado y basado en BIM es evaluado a través de la comparación de los resultados entre dicha automatización y el diseño de un proyecto existente previamente calculado y aprobado por la operadora sanitaria del sector.

1. Estado de la Cuestión

1.1. Diseño de SDAPA en el Contexto Chileno

El método de diseño de SDAPA en Chile no ha sufrido cambios sustanciales a lo largo del tiempo, en cuanto a su formulación y procedimiento. Las metodologías utilizadas, los rangos de valores aceptables para cada uno de los parámetros involucrados en los cálculos, se encuentran normados por el reglamento de Instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado (RIDAA) (Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2009).

El método de diseño de SDAPA tradicional se caracteriza por el desarrollo de cálculos basados en interpretación de modelos bidimensionales (CAD). Aquí se extraen manualmente los parámetros de entrada para el diseño de las redes, como materiales, longitudes de tuberías, tipos de conexiones, tipo y cantidad de aparatos sanitarios. Luego, esta información es procesada en hojas de cálculo, tabulando la información discretizada en tramos de tubería e incorporando condiciones iniciales de trabajo y características generales del proyecto que no vienen incorporadas en los datos extraídos del modelo (Wei, Chen et Wang, 2017). Luego se realiza una serie de iteraciones, en las que se hacen variar ciertos parámetros de los tramos de tuberías hasta llegar a una solución óptima. Esto equivale a minimizar el gasto en materiales y cumplir a la vez con los rangos normativos de pérdidas de presión y velocidades en el caso de las redes de agua potable y con las pendientes y longitudes máximas en el caso de las redes de alcantarillado (Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2009). Finalmente, el profesional debe recopilar y documentar los resultados, para luego vaciarlos en un plano (CAD), es decir, el diseño geométrico y su memoria de cálculo. Este entregable es presentado a la empresa operadora sanitaria del sector encargada de tramitar y dar factibilidad para la conexión del sistema a la red pública, para su posterior construcción.

1.2. Revit© y Dynamo © como herramienta de diseño de SDAPA

Revit© es un software para diseño y documentación de modelos de construcción virtual, cuyo funcionamiento y características funcionales pueden aportar información para ser integrada dentro de la metodología BIM (Stine, 2021).

La integración de BIM en el modelado de sistemas de agua potable y alcantarillado, haría posible disponer de una base de datos para los elementos que componen dichos sistemas, ya sean parámetros geométricos (diámetros, elevación, longitud, pendiente) o parámetros mecánicos (materiales, rugosidad, caudal, velocidad de flujo, presión) (Stine, 2021). Estos elementos pueden ser utilizados y modificados cuando se necesite, permitiendo ajustar estos parámetros a los requerimientos del proyecto, haciendo que el modelado sea más eficiente e intuitivo [6].

Este entorno ofrece opciones de personalización, pero en el contexto de SDAPA, Revit© es usado principalmente como software de diseño o modelado, en el caso chileno. Si bien, en Revit© se pueden definir parámetros hidráulicos y calcular distintas variables del sistema de manera específica, estos están predefinidos según la normativa y metodologías del International Plumbing Code (IPC) (Autodesk, 2023) donde la asunción de gastos por los aparatos sanitarios tiene otras unidades de medida y se basa en el uso o tiempo de operación de los aparatos sanitarios como parámetro de diseño. En contraste, la normativa chilena considera una componente probabilística para la definición los gastos de los aparatos sanitarios (Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2009). Por lo tanto, la aplicación de la herramienta de Revit© para el diseño de SDAPA requeriría un ejercicio de validación que lo haga admisible por parte de la empresa operadora sanitaria quien autoriza los diseños presentados.

Por otra parte, Dynamo© es un software de programación visual con un ambiente que el usuario puede crear flujos de trabajo basado en reglas diseñadas con variados lenguajes de programación textual. Dynamo©, además, tiene la capacidad de interactuar con Excel a través de una extensión llamada "Excel Import/Export". Esto permite a los usuarios importar y exportar datos de Excel directamente a Dynamo, lo que facilita la automatización de tareas y el análisis de datos. Esta funcionalidad podría permitir escalar a un nivel automatizado las planillas que tradicionalmente se usan para diseño de SDAPA, integrándolas con un modelo en Revit©.

2. Método de Desarrollo

Un proceso de diseño de SDAPA debiese considerar definiciones y restricciones normativas, recomendaciones técnicas, las características del software, alcance de su uso, formatos de trabajo, interoperabilidad con otros programas y la comodidad de la interfaz (Sandberg, 2011). Tomando en cuenta estas consideraciones, a continuación, en las secciones 2.1 y 2.2 se presentan la propuesta de diseño SDAPA – automatizados - los cuales se soportan en tres herramientas: Revit©, Dynamo© y Excel©. El primer software, es utilizado como repositorio de las características geométricas de la edificación y sus componentes en forma de parámetros. La segunda aplicación, tiene como función automatizar la comunicación entre Revit© y Excel©. En esta última aplicación, residen los cálculos que sustentan el diseño así también como las tablas que deben ir en los planos entregables con el detalle de dichos cálculos.

2.1 Diseño Automatizado del Sistema de Agua Potable Propuesto

Los cálculos para el diseño son realizados en Excel© con funciones específicas, con información importada desde el modelo BIM a través de Dynamo©, formando una cadena de procesos automáticos que calculan y ordenan la información paramétrica de cada sistema, a través de funciones programables predefinidas en la plataforma. El proceso de diseño automatizado se muestra en la Figura 1.

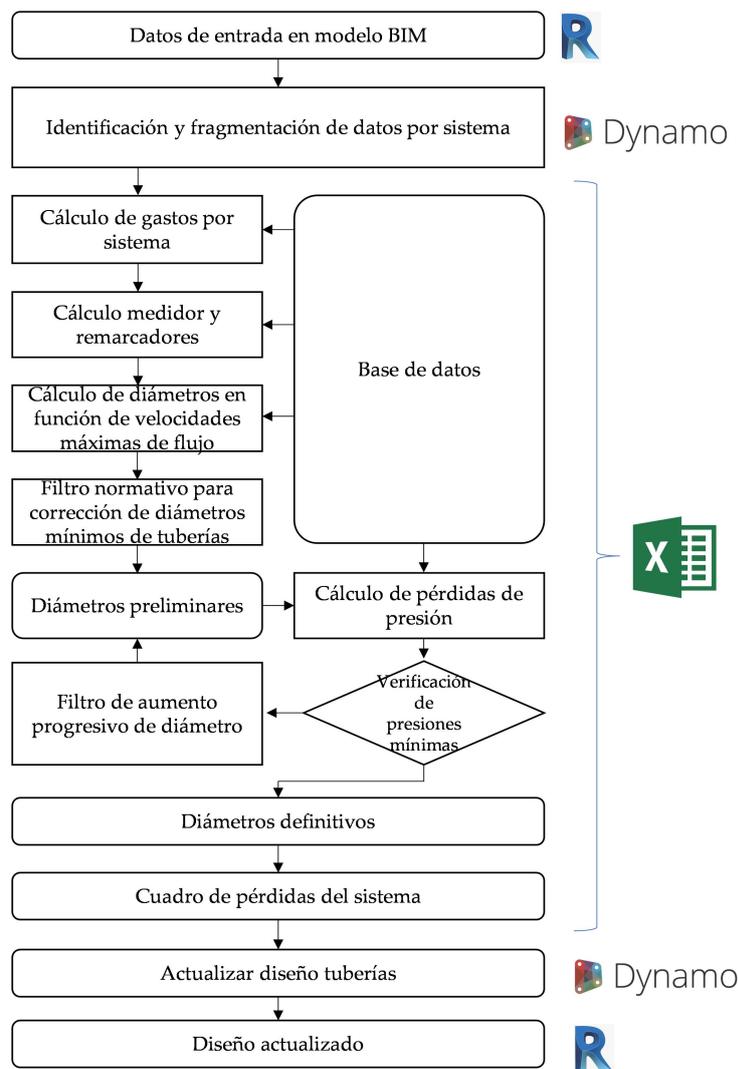


Fig. 1 Procesos para el cálculo automático de sistemas de agua potable

2.2 Diseño Automatizado del Sistema de Alcantarillado Propuesto

El dimensionamiento de la red de alcantarillado domiciliario se basa en verificaciones técnicas de las pendientes y diámetros que son necesarios para una descarga rápida de los desechos que reciben cada uno de los tramos. Por lo que el proceso se divide en una serie de condicionantes que restringe los diámetros y pendientes con valores mínimos o con rangos de valores en los que se puede diseñar, por lo que la automatización debe cumplir con verificar y modificar según los siguientes criterios, basados en (Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2009):

- **Diámetro mínimo de descarga de los aparatos sanitarios:** Cada tubería a la salida de los aparatos sanitarios debe cumplir con el diámetro mínimo establecido para cada uno, generalmente este diámetro está definido por el diámetro real con el que se construye.
- **Diámetros aguas abajo de los aparatos sanitarios:** Los tramos aguas abajo de cada uno de los aparatos sanitarios no pueden presentar reducciones en sus diámetros.
- **Verificación de descargas de UEH¹ (unidad equivalente hidráulica):** Se verifica la capacidad de descarga que tienen las tuberías, definiendo un máximo de UEH que conducen los tramos según el diámetro y la pendiente que estos posean.

¹ Concepto probabilístico, en términos del cual se cuantifica la contribución de gasto al sistema de tuberías de la instalación domiciliar de alcantarillado, de cada uno de los aparatos sanitarios instalados, expresado en una determinada escala (Fuente: RIDAA).

En la Figura 2 se presenta el diagrama de procesos para el cálculo de sistemas de alcantarillado domiciliario.

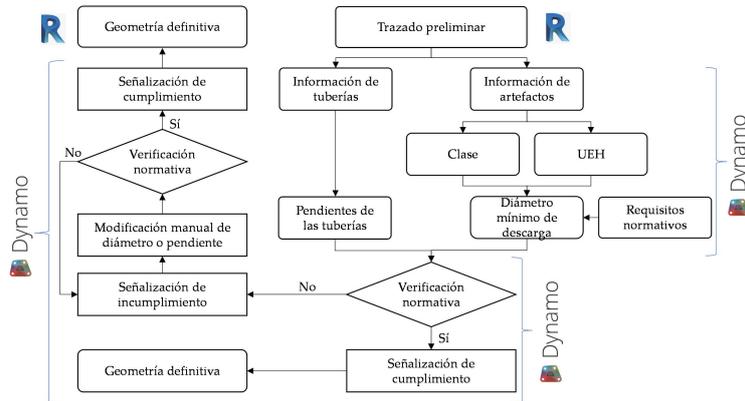


Figura 2. Procesos para el cálculo automático de sistemas de alcantarillado.

3. Caso de Estudio

El caso de estudio se basa en un proyecto de locales comerciales diseñado y calculado previamente utilizando los métodos tradicionales descritos en la sección 1.1. El inmueble se compone de dos pisos, que contiene en seis locales comerciales en su interior y una superficie de jardín de 20 metros cuadrados. Cada local cuenta con un remarcador de agua potable, alimentado desde un medidor general. Además, cuenta con red húmeda de 200 [L/min]. Este proyecto pertenece a la categoría “local comercial u oficina”, por lo que su ocupación se mide en función de su superficie. La Figura 3 muestra el modelo 3D del proyecto, realizado en base a la interpretación de los planos CAD.

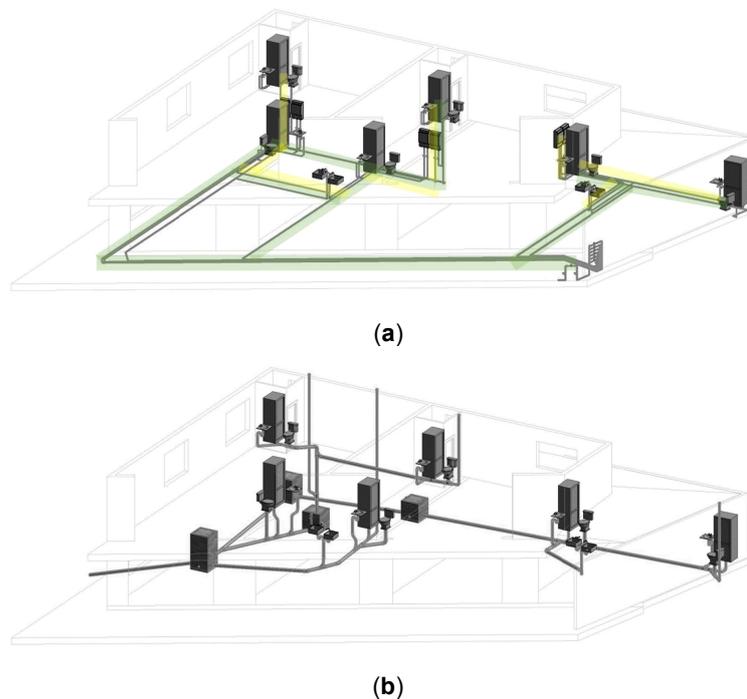


Fig. 3 Trazado de las redes domiciliarias en locales comerciales. (a) redes de agua potable en fría y caliente (colores verde y amarillo respectivamente); (b) red de alcantarillado.

El edificio fue diseñado con dos tipos diferentes de locales comerciales, diferenciándose los del segundo piso, por poseer un artefacto menos que los del primero. Dado lo anterior, se consideran dos casos diferentes para el estudio, eligiendo los locales de cada piso que se encuentran más alejados del medidor de agua potable, siendo los más desfavorables en cuanto a pérdidas por fricción, debido a la mayor longitud de sus tuberías. El local comercial tipo 1, posee inodoro, lavamanos, lavaplatos y baño lluvia, mientras que

el local comercial tipo 2, posee inodoro, lavamanos y lavaplatos. En la Figura 3 se destacan en colores cada uno de los tipos de locales que se utilizarán para el estudio (amarillo: tipo 1; verde: tipo 2).

En las secciones 3.1 y 3.2 a continuación se muestran los resultados obtenidos para el diseño de SDAPA y el comparativo entre el diseño obtenido con el sistema automatizado versus el diseño previamente desarrollado por el método tradicional.

3.1 Sistema de Agua Potable

En primer lugar, se tiene el cuadro general de gastos instalados en el sistema (Tabla 1), junto con la memoria de cálculo del medidor de agua potable que alimenta a todo el sistema (Tabla 2).

Tabla 1. Cuadro de gastos totales instalados, edificio de locales comerciales.

Artefacto	Sigla	Gasto artefacto [L/min]	Cantidad agua fría	Cantidad agua caliente	Gasto [L/min]
Inodoro	WC	10	6	0	60
Lavamanos	LO	8	6	6	96
Baño lluvia	BOLL	10	6	6	120
Lavaplatos	LP	12	4	4	96
Red húmeda					200
Gasto total instalado [L/min]					572

Tabla 2. Memoria de cálculo medidor general, caso aplicado en edificio de locales comerciales.

Memoria de cálculo M.A.P.	
Caudal instalado en el sistema	572.00 [L/min]
Caudal máximo probable	138.13 [L/min]
Diámetro del medidor	38.00 [mm]
Consumo máximo diario	20.00 [m ³ /día]
Pérdida de carga en el medidor	1.72 [mca]

Los resultados obtenidos, muestran el correcto funcionamiento en la detección de los aparatos sanitarios para el cálculo de caudales instalados. Dado que la información calculada tiene valores fijos, no hay margen de error respecto al resultado obtenido con métodos tradicionales, obteniendo exactamente el mismo cuadro de gastos, como se muestra en la Figura 4.

MEMORIA CALCULO DE M.A.P. DIAM=38mm

CAUDAL INSTALADO = 572 lts/min
 (incluido red húmeda de 200lts/min)
 CAUDAL MAX. PROBABLE = 138.18 lts/min

DOTACIÓN LOCAL COMERCIAL

SON 321,5 M2 x 10 lts/M2/día = 3215 lts/día
 SON 20 m2 DE JARDIN x 10 lts/m2/día = 200 lts/día
 TOTAL = 3415 lts/día

PERDIDA EN M.A.P. DIAM=38mm

$$J = 0.036 \times \frac{QMP^2}{C^2} \quad C=20 \text{ para M.A.P. DE } 38\text{mm}$$

$$J = 0.036 \times \frac{138,18^2}{20^2} = 1.72 \text{ mca}$$

Fig. 4 Memoria de cálculo original del medidor general del proyecto de locales comerciales

Como se mencionó anteriormente, el cálculo de las redes, se discretiza en dos tipos de locales comerciales, representativos de las configuraciones encontradas en el proyecto a calcular. De este modo, se comienza por mostrar los resultados del local del tipo 1. La Tabla 3 exhibe el cuadro de gastos.

Tabla 3. Cuadro de gastos instalados, local comercial tipo 1

Artefacto	Sigla	Gasto artefacto [L/min]	Cantidad agua fría	Cantidad agua caliente	Gasto [L/min]
Inodoro	WC	10	1	0	10
Lavamanos	LO	8	1	1	16
Baño lluvia	BOLL	10	1	1	20
Lavaplatos	LP	12	1	1	24
Gasto total instalado [L/min]					70

El sistema automatizado logra identificar y cuantificar el aporte de los aparatos sanitarios al sistema, calculando el gasto total instalado.

Una vez determinados los gastos del sistema, se realiza el cálculo del remarcador de agua potable asociado a dicho local comercial, arrojando los resultados de la Tabla 4. Los que se pueden comparar con los valores reales del proyecto (Figura 5), con valores similares.

Tabla 4. Memoria de cálculo remarcador del local comercial tipo 1.

Memoria de cálculo R.A.P.	
Caudal instalado en el sistema	70.00 [L/min]
Caudal máximo probable	32.49 [L/min]
Diámetro del medidor	25.00 [mm]
Consumo máximo diario	7.00 [m ³ /día]
Pérdida de carga en el medidor	0.78 [mca]

MEMORIA CALCULO DE R.A.P. DIAM=25mm

CAUDAL INSTALADO = 70 lts/min
 CAUDAL MAX. PROBABLE = 32.49 lts/min

DOTACIÓN LOCAL COMERCIAL

SON 321,5 M² x 10 lts/M²/día = 3215 lts/día
 SON 20 m² DE JARDIN x 10 lts/m²/día = 200 lts/día
 TOTAL = 3415 lts/día

PERDIDA EN R.A.P. DIAM=25mm

$$J = 0.036 \times \frac{QMP^2}{C^2} \quad C=7 \text{ para M.A.P. DE 25mm}$$

$$J = 0.036 \times \frac{32,49^2}{7^2} = 0.78 \text{ mca}$$

Fig. 5 Memoria de cálculo original de remarcadores del proyecto de locales comerciales

La Tabla 5 muestra el resumen del cuadro de pérdidas referentes al local comercial tipo 1.

Tabla 5. Cuadro resumen de pérdidas sistema de agua potable fría, local comercial tipo 1.

Tramo	Material	Tipo	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]	Pérdida total [mca]	Presión final [mca]	
MAP	RAP	COBRE	Cu L	3.30	25	1.02	0.76	13.24
RAP	A	COBRE	Cu L	2.56	25	1.02	0.21	13.03
A	B	COBRE	Cu L	28.39	25	1.02	1.76	11.27
B	C	COBRE	Cu L	2.20	19	1.52	0.60	10.68
C	D	COBRE	Cu L	0.99	19	1.34	0.29	10.39
D	BOLL	COBRE	Cu L	1.43	13	0.94	2.15	8.24

D	E	COBRE	Cu L	0.85	19	1.14	0.26	10.13
E	CAL	COBRE	Cu L	1.72	19	0.97	1.59	8.54
E	LO	COBRE	Cu L	1.46	13	0.81	1.02	9.11
C	WC	COBRE	Cu L	0.67	13	0.94	0.57	10.11
B	LP	COBRE	Cu L	5.51	13	1.07	1.67	9.61

Como se observa, las velocidades y presiones cumplen con las limitaciones normativas. Los diámetros mantienen el comportamiento descendente, exceptuando los tramos que finalizan en un artefacto. En la Tabla 6, se compara los valores de diámetros y presiones finales en cada tramo, respecto a los resultados provenientes del cálculo manual (tradicional). Para analizar de mejor manera las diferencias en las presiones finales del sistema, se utiliza el error relativo porcentual, asumiendo como valor verdadero o real, el previamente conocido, mientras que se considera como valor nuevo, el calculado por el algoritmo.

Tabla 6. Comparación de diámetros y presiones finales, local comercial tipo 1.

Tramo		Diámetro con método tradicional [mm]	Diámetro con automatización [mm]	Presión final método tradicional [mca]	Presión final con automatización [mca]	Error relativo porcentual de presiones finales
MAP	RAP	25	25	13.72	13.24	3.50%
RAP	A	25	25	12.57	13.03	3.66%
A	B	25	25	11.19	11.27	0.71%
B	C	19	19	10.69	10.68	0.09%
C	D	19	19	10.52	10.39	1.24%
D	BOLL	13	13	8.05	8.24	2.36%
D	E	19	19	10.35	10.13	2.13%
E	CAL	19	19	8.98	8.54	4.90%
E	LO	13	13	9.05	9.11	0.66%
C	WC	13	13	9.80	10.11	3.16%
B	LP	13	13	8.97	9.61	7.12%

La Tabla 6 muestra una baja diferencia entre los valores obtenidos con el sistema de diseño automatizado y el tradicional, donde la máxima diferencia alcanza el 7,12%.

La Tabla 7 muestra el resumen de las pérdidas de la red de agua caliente

Tabla 7. Cuadro resumen de pérdidas sistema de agua potable caliente, local comercial tipo 1.

Tramo	Material	Tipo	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]	Pérdida total [mca]	Presión final [mca]
CAL	F	COBRE	Cu L	1.19	19	0.97	2.04
F	G	COBRE	Cu L	0.28	19	0.97	0.15
G	LO	COBRE	Cu L	0.86	13	0.81	0.97
G	H	COBRE	Cu L	1.33	19	0.78	0.21
H	BOLL	COBRE	Cu L	1.18	13	0.94	2.12
H	LP	COBRE	Cu L	8.19	13	1.07	2.08

Al igual que para los tramos de la red de agua fría, se cumple con los márgenes de pérdidas y velocidades. En la Tabla 8 se observa de manera comparativa los resultados.

Tabla 8. Comparación de diámetros y presiones finales red de agua caliente, local comercial tipo 1.

Tramo	Diámetro con	Diámetro con	Presión final	Presión final con	Error relativo
-------	--------------	--------------	---------------	-------------------	----------------

		método tradicional [mm]	automatización [mm]	método tradicional [mca]	automatización [mca]	porcentual de presiones finales	
CAL	F	19	19	7.17	6.49	9.48%	
	F	G	19	19	6.16	6.35	3.08%
	G	LO	19	13	5.85	5.37	8.21%
	G	H	19	19	7.06	6.14	13.03%
	H	BOLL	13	13	4.58	4.02	12.23%
	H	LP	13	13	4.27	4.06	4.92%

Como se ve en la Tabla 8, existe una diferencia mayor entre los resultados obtenidos entre el proceso automatizado y el diseño tradicional, dado que en los tramos que conducen hacia un artefacto, se asume el criterio que busca mantener los 13 [mm], para facilitar la conexión con las llaves de salida, evitando el uso excesivo de accesorios en los terminales de la red. Sin embargo, el uso de un diámetro de 19 [mm], no sugiere mayores problemas, ya que sigue siendo un tamaño aceptable para la conexión de un artefacto sanitario. El uso de un diámetro mayor se puede asociar a un criterio más bien conservador, aplicado por el profesional a cargo del proyecto.

La Tabla 9 muestra el cuadro de gastos correspondiente al local tipo 2.

Tabla 9. Cuadro de gastos instalados, local comercial tipo 2

Artefacto	Sigla	Gasto artefacto [L/min]	Cantidad agua fría	Cantidad agua caliente	Gasto [L/min]
Inodoro	WC	10	1	0	10
Lavamanos	LO	8	1	1	16
Baño lluvia	BOLL	10	1	1	20
Gasto total instalado [L/min]					46

Para el caso del local 2, se obtienen correctamente los valores resultantes de caudales instalados, contabilizando los aparatos sanitarios que cuentan con agua fría y caliente respectivamente. En este caso se puede notar un menor valor de gasto total, debido a la menor cantidad de aparatos sanitarios en este sistema. Continuando, se muestra el resultado para el remarcador correspondiente (Tabla 10).

Tabla 10. Memoria de cálculo remarcador del local comercial tipo 2.

Memoria de cálculo R.A.P.	
Caudal instalado en el sistema	46.00 [L/min]
Caudal máximo probable	24.33 [L/min]
Diámetro del medidor	25.00 [mm]
Consumo máximo diario	7.00 [m ³ /día]
Pérdida de carga en el medidor	0.78 [mca]

Como se venía mostrando en los resultados previos, se optimiza el consumo máximo diario, obteniendo una pérdida de carga de 0.78 [mca] para un remarcador de 25 [mm]. El cuadro de pérdidas de local comercial tipo 2, se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Cuadro resumen de pérdidas sistema de agua potable fría, local comercial tipo 2.

Tramo	Material	Tipo	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]	Pérdida total [mca]	Presión final [mca]		
MAP	RAP	COBRE	Cu L	11.93	25	0.76	0.73	13.60	
	RAP	A	COBRE	Cu L	2.06	25	0.76	0.11	13.49
	A	B	COBRE	Cu L	41.92	25	0.76	1.54	11.95

B	C	COBRE	Cu L	0.43	19	0.92	3.32	8.63
C	D	COBRE	Cu L	3.16	19	0.92	0.25	8.39
D	E	COBRE	Cu L	0.33	19	0.92	0.10	8.29
E	F	COBRE	Cu L	0.15	19	0.68	0.05	8.24
F	BOLL	COBRE	Cu L	1.23	13	0.94	2.13	6.11
F	LO	COBRE	Cu L	1.56	13	0.81	1.03	7.21
E	WC	COBRE	Cu L	1.29	13	0.94	0.67	7.61
B	CAL	COBRE	Cu L	1.46	19	0.68	1.50	10.46

En la Tabla 12 se comparan los valores obtenidos entre los procesos automatizado y tradicional.

Tabla 12. Comparación de diámetros y presiones finales, sistema de agua fría, local comercial tipo 2.

Tramo		Diámetro con método tradicional [mm]	Diámetro con automatización [mm]	Presión final método tradicional [mca]	Presión final con automatización [mca]	Error relativo porcentual de presiones finales
MAP	RAP	25	25	13.68	13.60	0.58%
RAP	A	25	25	13.12	13.49	2.82%
A	B	25	25	11.86	11.95	0.76%
B	C	19	19	10.41	8.63	17.10%
C	D	19	19	8.69	8.39	3.45%
D	E	19	19	8.37	8.29	0.96%
E	F	19	19	8.32	8.24	0.96%
F	BOLL	13	13	5.09	6.11	20.04%
F	LO	13	13	7.00	7.21	3.00%
E	WC	13	13	7.29	7.61	4.39%
B	CAL	19	19	10.60	10.46	1.32%

Según se presenta en la Tabla 12, no existe mayor diferencia en los diámetros seleccionados y se mantuvo el diámetro mínimo en los tramos con aparatos sanitarios. Por otra parte, los errores relativos muestran valores extremos a lo largo de la red, teniendo un error mínimo de 0.58% y un error máximo de 20.04%, donde este último genera una subestimación de la capacidad de la red, ya que con el método automático se obtiene una presión mayor en el tramo afectado.

Finalmente, la Tabla 13 muestra el cuadro de pérdidas de la red de agua caliente del local en análisis junto con la comparación de diámetros y pérdidas Tabla 14.

Tabla 13. Cuadro resumen de pérdidas sistema de agua potable caliente, local comercial tipo 2.

Tramo		Material	Tipo	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]	Pérdida total [mca]	Presión final [mca]
CAL	G	COBRE	Cu L	3.16	19	0.68	3.94	6.51
G	H	COBRE	Cu L	0.76	19	0.68	0.09	6.42
H	BOLL	COBRE	Cu L	1.13	13	0.94	2.12	4.30
H	LO	COBRE	Cu L	1.43	13	0.81	1.02	5.40

Tabla 14. Comparación de diámetros y presiones finales red de agua caliente, local comercial tipo 2

Tramo		Diámetro con método tradicional [mm]	Diámetro con automatización [mm]	Presión final real [mca]	Presión final calculada [mca]	Error relativo porcentual de presiones finales
CAL	G	25	19	8.44	6.51	22.87%
G	H	19	19	6.34	6.42	1.26%
H	BOLL	19	13	4.40	4.30	2.27%
H	LO	13	13	5.02	5.40	7.57%

Como se ve en la Tabla 14, se nota una clara diferencia en el primer y tercer tramo. Comenzando por incurrir nuevamente en el uso de mayores diámetros en los tramos que conducen hacia un artefacto, como es el caso del tramo "H - BOLL". Como se explicó anteriormente, esta diferencia radica en el uso de criterios específicos para la automatización. En segundo lugar, está el caso del tramo "CAL - G", donde se infiere que el proyectista utilizó un diámetro mayor, para aumentar la presión en los tramos finales de la red. Sin embargo, a través del método automatizado, se demuestra que la exactitud en el cálculo permite reducir diámetros, conociendo con mayor confiabilidad el valor de las pérdidas. Finalmente, el error relativo de mayor valor (22.87%), responde justamente al aumento de carga que significa el uso de diámetros mayores.

Finalmente, se presenta el resultado de la exportación automática de los resultados (Figura 10), los que se compilan en un plano tipo, en el que se muestran las vistas en planta de la estructura, junto a las tablas correspondientes a los cuadros de gastos instalados, pérdidas de carga, cálculo de medidor y remarcadores.

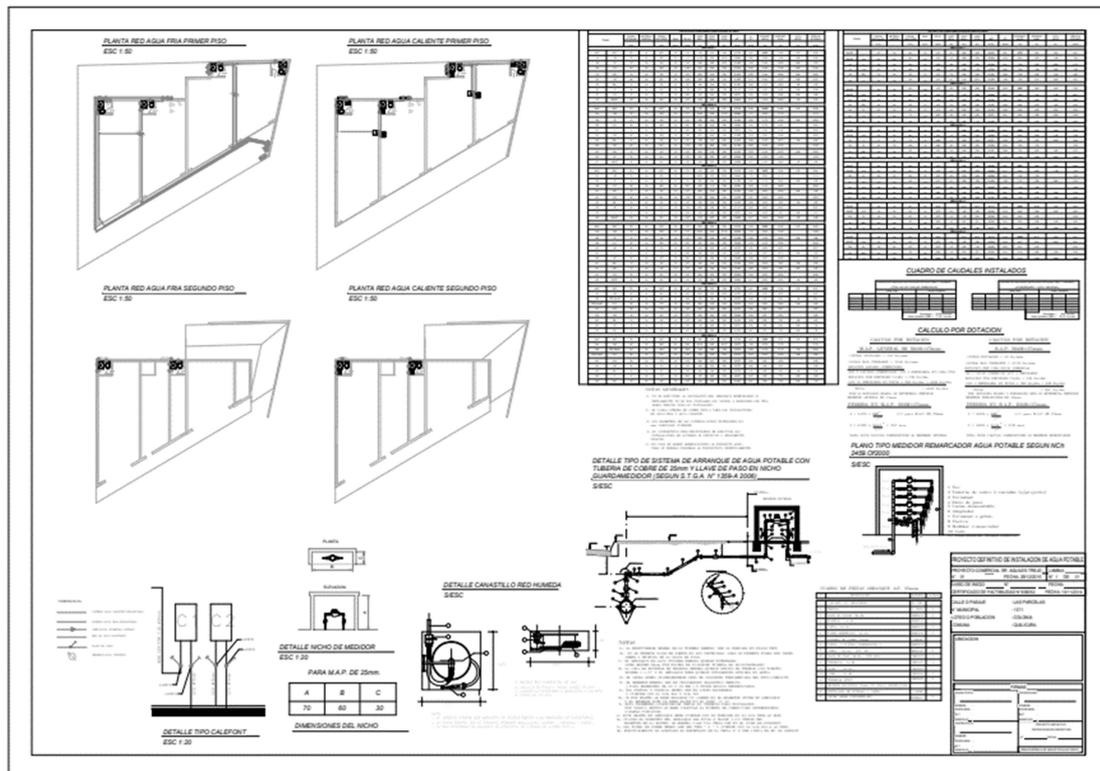


Fig. 6 Presentación final de los resultados, en formato de plano tipo.

3.2 Sistema de Alcantarillado

De la misma forma que para el diseño del sistema de agua potable, se debe hacer el análisis según la estructuración y tipo de edificación que representa el proyecto en estudio, haciendo una tabla resumen con todos los aparatos sanitarios que estarán asociados al sistema con el correspondiente valor de descarga.

Como el proyecto consta de un loteo de locales comerciales, el tipo de aparatos sanitarios que se consideran para realizar la verificación es correspondiente a una clase 3, debiendo incorporar el valor de UEH correspondiente.

Tabla 15. Cuadro de UEH.

CLASE 3				
Artefacto	Diámetro Min. [mm]	UEH	CANTIDAD	TOTAL
LP	75	8	4	32
LO	75	2	6	12
BLL	75	6	6	36
WC	110	6	6	36
			Total UEH	116

Después de determinadas las descargas de cada uno de los aparatos sanitarios, estas se introducen a los elementos correspondientes dentro del modelo, para luego poder ejecutar los códigos que contienen los procesos de cálculo y de verificación.

Antes de asignar los valores de UEH para cada tramo de tubería, es necesario ajustar el diámetro mínimo de descarga para cada uno de los aparatos sanitarios según la Tabla 15. Este ajuste se logró realizar mediante un único código de Dynamo®, donde dependiendo del tipo de artefacto y de su diámetro de salida, todas las tuberías aguas abajo de cada uno de los aparatos sanitarios se cambia automáticamente para cumplir con esta condición. Con este proceso, además de asegurar que se cumplan los diámetros mínimos, se asegura que no existan reducciones aguas abajo del sistema, ya que se impuso un ordenamiento secuencial que va desde los aparatos sanitarios con menores diámetros hasta los aparatos sanitarios con mayor diámetro.

El caso de los locales comerciales pudo ser resuelto y verificado en pocas iteraciones, ya que, para las pendientes y características geométricas del proyecto, como también la ubicación de los aparatos sanitarios, posibilita el cumplimiento de la normativa solo con los diámetros mínimos de descarga de los aparatos sanitarios.

4. Conclusiones

A través del presente trabajo, se ha mostrado el potencial del trabajo conjunto entre Revit®, Dynamo® y Excel® para automatizar el diseño de SDAPA.

Se logró automatizar el cálculo completo de las redes de agua potable, requiriendo solo de la información proporcionada por el usuario en el modelo, y de los parámetros extraídos directamente de este. La automatización consiguió arrojar las tablas de resultados, los cuadros de gastos instalados, cálculo de medidor y remarcadores, cuadros de pérdidas en el sistema, con una baja variabilidad en general, tomando como referencia los resultados obtenidos con métodos tradicionales. Para el caso de las redes de alcantarillado, el sistema automatizado se orientó a la verificación, desarrollando una interfaz interactiva, que mediante colores señala el estado de cada tramo respecto a las restricciones normativas, evitando la necesidad de realizar cálculos para la determinación de pendientes.

Para futuros trabajos, se sugiere la búsqueda de mejoras en los procesos automáticos, con el fin de ampliar el alcance del uso de la herramienta. Lo anterior, con el propósito de poder llegar a resolver diseños más complejos y de mayor tamaño, con la incorporación de redes alimentadas por sistemas de elevación y estanques de acumulación, por ejemplo.

Referencias

AUTODESK (2023) Pipe Sizing and Calculation Methods,.

CNP (2020) Productividad en el sector de la construcción, Santiago de Chile.

- KHAIRULZAMAN H.A. et USMAN F. (2018) Automation in civil engineering design in assessing building energy efficiency, *in International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 722-727.
- LOYOLA M. (2019) Encuesta Nacional BIM 2019, Santiago, Chile.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DE CHILE (2009) Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDAA),.
- SANDBERG J. (2011) *Computer Based Tools in the HVAC Design Process*, Thèse de doctorat, 100 p.
- STINE D. (2021) Revit for Architecture Certified User Exam Preparation.
- WEI T., CHEN G. et WANG J. (2017) Application of Bim Technology in Building Water Supply and Drainage Design, *in 1st International Global on Renewable Energy and Development (IGRED 2017)*, 5.

EXPERIENCIAS REALES CON BIM



GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN MEDIANTE CUADRO DE MANDO ASOCIADO A UN VISOR WEB BIM-GIS PARA EL PROYECTO DEL TREN MAYA, MÉJICO

Roldán-Hernández, Agustín^a; Jiménez-Gil, Jonás^b

^aTYPSA – Departamento BIM, España, aroldan@typsa.es, ^bTYPSA – Departamento BIM, España, jonasjimenezgil@gmail.com

Abstract

This article shows the process of creating a GIS-BIM web viewer and a balanced scorecard (BSC) for the visualization of parametrical information of project management, planning and cost control as result of the construction process of the Maya train, in Yucatan, Mexico; a design and execution project of a railway train of more than 1500 km in length. In order to manage and work with the large volume of associated information and to be able to share it with all agents involved in the project, a BSC of quantitative indicators associated with the progress along the construction is created. The unstructured data and information received is transformed into useful and structured information through data management tools, such as PowerQuery, and its connection into the project is automated through the PowerAutomate tool. Finally, this information is visualized through PowerBI dashboards and integrated with the GIS-BIM viewer, allowing the examination of the data in the same collaborative platform. This working methodology provides direct transmission of information and allows real-time decision making, improving planification and optimization of available resources in a project of this magnitude.

Keywords: BIMGIS, automation, data, dashboard, digitalization, communication, efficiency, planning, control, interoperability

Resumen

En el presente artículo se muestra el proceso de creación de un visor web GIS-BIM y un cuadro de mando integral (CMI) para la visualización de la información alfanumérica de gestión de obra, planificación y control de costes derivada del proceso constructivo del tren Maya, en Yucatán, Méjico; un proyecto de diseño y ejecución de un tren ferroviario de más de 1500 km de longitud. Para gestionar y trabajar con el gran volumen de información asociada y poder compartirla con los agentes intervinientes en el proyecto, se crea un CMI de indicadores cuantitativos asociados al avance constructivo. La información alfanumérica recibida desestructurada se transforma en información útil y estructurada a través de herramientas de gestión de datos, como PowerQuery, y se automatiza su importación al proyecto a través de la herramienta PowerAutomate. Finalmente, dicha información se visualiza a través de cuadros de control en PowerBI y se integra con el visor GIS-BIM permitiendo la observación de los datos en una misma plataforma colaborativa. Esta metodología de trabajo proporciona la trasmisión directa de la información y permite la toma de decisiones en tiempo real, mejorando la planificación y la optimización de los recursos disponibles en un proyecto de tal magnitud.

Palabras clave: BIMGIS, automatización, datos, cuadro mando, digitalización, comunicación, eficiencia, planificación, control, interoperabilidad

Introducción

Esta comunicación expone el desarrollo llevado a cabo por el departamento BIM de TYPESA, en colaboración con MEXTYPSA, para la **gestión eficiente** de la información del proyecto del Tren Maya de Méjico. El proceso ha sido llevado a cabo mediante un cuadro de mando creado con Power BI, conectado a un visor web compuesto por modelos BIM-GIS, que permite una gestión integrada de la información en tiempo real.

El Tren Maya es un proyecto que se localiza en el sureste de Méjico, en la península de Yucatán, y que tiene como objetivo principal potenciar el ordenamiento territorial de la región y fortalecer la industria turística de esta área. Esta línea de ferrocarril aumentará de manera significativa la conectividad de la zona mediante sus siete tramos que conforman una red cerrada de interconexión territorial.



Fig. 1 Localización Tren Maya. Fuente: Gobierno de Méjico (2022)

El proyecto cuenta con 20 estaciones a lo largo de los aproximadamente 1554 kilómetros de ancho estándar (1435 mm) que lo forman, 690 de ellos de vías electrificadas. Estos datos a gran escala reflejan la magnitud del proyecto en cuanto a su **complejidad y a la diversidad de su información**, factor clave a la hora de motivar el desarrollo de este proyecto.

La construcción del Tren Maya se basa en una **sólida premisa medioambiental**, la cual es una prioridad en todo el proceso de ejecución del proyecto. El funcionamiento del tren promoverá el transporte de pasajeros, turistas y carga de manera eficaz, ayudando así a liberar la intensidad de tráfico y las emisiones contaminantes del transporte por carretera. A su vez, debido al carácter ecológico de gran interés del recorrido, se hizo necesario llevar a cabo un seguimiento de las afecciones del proyecto en todas sus etapas. Una de las singularidades del proyecto es que, para minimizar su impacto ambiental y social el 95% del mismo transcurre por infraestructura existente (Derecho de Vía).

El uso de la metodología BIM en un proyecto supone el manejo de una gran cantidad de datos, la famosa “i” del BIM, la componente alfanumérica de los modelos que les proporciona la utilidad real. En este proyecto, esta cantidad de información provenía de pasos de fauna, pasos peatonales, estaciones, cocheras, talleres y vía férrea. A ello se sumaban los condicionantes territoriales y sociales que se gestionaron mediante sistemas de información geográfica (GIS) y los datos económicos que cada constructora enviaba de manera semanal a MEXTYPSA para que esta comunicara el desarrollo del proyecto al cliente. Es por la **necesidad de gestionar** toda esta información que nació la idea de desarrollar un cuadro de mando.

El desarrollo e implementación de este proyecto se hizo en 2022, y a esa fecha los avances en materia de cuadros de mando eran ya una realidad, siendo Power BI el referente. El mundo del GIS y el BIM había sufrido una evolución muy grande desde su integración, y la componente económica de un proyecto seguía siendo un factor clave, sin embargo, la conjunción de estos tres factores en una aplicación colaborativa, online, de libre acceso y que no requiriese de formación de ningún tipo para manejarla y después comunicarla, era algo que hasta el momento no se había llevado a cabo.

1. Problemática y antecedentes

El problema en este proyecto proviene de un hecho muy común en los proyectos constructivos de gran dimensión hoy en día, el exceso de información. Contar con una gran cantidad de información no asegura que la calidad y la eficiencia del proyecto aumenten en la misma dirección. Es más, un exceso de información inconexa y difícil de interpretar conlleva claramente el efecto contrario. Todo esto se ve multiplicado en nuestro proyecto, en tanto en cuanto, la información de cada uno de los tramos del proyecto se recibía de una constructora distinta y en un formato diferente, con mediciones en diferentes ámbitos que no se parecían entre sí. Esto supuso que el dato no tuviera valor para ser utilizado.

Las principales consecuencias que se apreciaron en base a esta problemática fueron:

- **Sobrecarga de información en los usuarios.** Las personas que trabajaban en el proyecto dedicaban la mayor parte de su tiempo a interpretar, en muchas ocasiones de manera errónea, los datos que recibían.
- **Errores derivados del dato.** Cualquier decisión que se apoyara en estos datos estaba supeditada al error. Esto era debido a que la fiabilidad del dato era escasa y en muchos casos no permitía la toma eficaz de decisiones.
- **Imposibilidad de comunicación.** El hecho de no entender el dato, de no procesarlo, hacía que la comunicación tanto a nivel interno de proyecto como a nivel externo con el cliente contratante se hiciera tediosa y complicada. En muchos casos, era un impedimento que bloqueaba el avance del proyecto al no entender en qué punto se encontraba el estado de la obra.
- **Ineficacia del CDE.** Se trabajó con un SharePoint como CDE y el volumen de datos alcanzaba los 70 Terabytes. Esto hacía que la conexión con esta base de datos fuera imposible y ralentizase el uso de la herramienta, por lo que hubo que buscar una solución alternativa.

Para comprender mejor este problema, se define brevemente en qué consistía este volumen de datos. En este sentido, MEXTYPSA recibía información de cada contratista en cada uno de estos subapartados:

- Modelos **BIM** de las estaciones, talleres, apeaderos y cocheras.
- Información en **Excel de avances de obra**, adquisiciones, pagos de terrenos, porcentajes de avance, etc. Estas hojas de Excel llegaban a superar las 14.000 columnas y las 25.000 filas de datos.
- **Información gráfica** que daba soporte al control de obra, esto es, vídeos e imágenes.
- **Información geográfica** que contextualizaba el entorno del proyecto, puntos de interés arqueológico, zonas de hábitats, límites administrativos, zonas protegidas, etc.
- **Datos económicos** del proyecto, presupuesto, estimaciones, avances y actualizaciones. Estos datos, aunque parezcan desligados de un proceso ingenieril y no entren en la categoría de BIM o de GIS, eran datos que aportaban una información muy útil a cliente y contratista.

A este volumen hay que sumar la **heterogeneidad** de la información que carecía de una estructura inicial, lo que generaba datos con formatos y estructuras aleatorias. Con este hecho, se tenían hojas de Excel donde en una misma columna había datos numéricos, datos de fechas, campos vacíos, o campos de texto, algo que directamente hacía inviable el poder analizar la información recibida.

Para conseguir que el dato fuese estandarizado y poder extraer su potencial, las herramientas que se creyeron más idóneas fueron el *big data*, la automatización de tareas, y el **proceso de extracción, transformación y carga del dato (ETL)**. Esto, junto con la utilización de plataformas de *Business Intelligence* que amplían de manera considerable el potencial gráfico del dato, conectadas a un **visor de información BIMGIS**, constituían el núcleo principal de herramientas del desarrollo del proyecto.

2. Objetivos y alcances

Una vez analizada la problemática existente, se detallan los objetivos que se fijaron en el proyecto.

- **Definir un flujo de información** estable y automatizado entre MEXTYPSA y TYPESA España. Se resolvía así el problema del gran volumen de almacenamiento del SharePoint, permitiendo la conexión de Power BI.
- **Automatizar el proceso** de copiado de información, esto es, que el envío de nueva información por parte de las constructoras, o el envío de nuevos **modelos GIS o BIM** por parte de los ingenieros al SharePoint de MEXTYPSA, desencadenase automáticamente un proceso de volcado de datos entre su SharePoint y nuestro SharePoint espejo (ver Fig.2). De este modo, tanto Power BI como el visor BIMGIS, ambos conectados a nuestro SharePoint espejo, adquirirían esa información actualizada sin necesidad de un trabajo manual por parte de ningún agente del proyecto. Este proceso se resolvió con la **herramienta Power Automate**.
- **Establecer** de manera clara y concisa una **estructura sencilla y homogénea** para todos los datos existentes y futuros del proyecto. Para este objetivo la herramienta que se utilizó fue PowerQuery.
- Conectar la información alfanumérica de los **modelos gráficos de BIM y de GIS entre el visor web y el cuadro de mando**. Tras esta conexión se definió un proceso que hiciera accesibles ambos mediante *URL* y sin necesidad de conocimientos previos o de licencias y softwares de ningún tipo.
- Crear un Power BI único que fuera capaz de **monitorizar todo el avance de obra** que se estaba construyendo, recoger todos los datos económicos del proyecto y conectar todo esto al visor BIM-GIS.

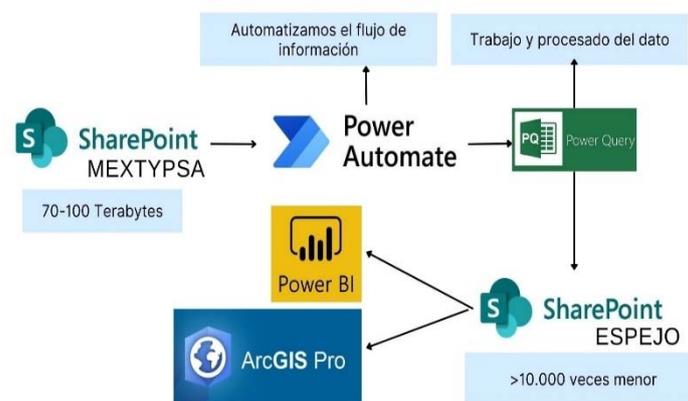


Fig. 2 Diagrama del flujo de trabajo del proyecto. Fuente: Elaboración propia

3. Metodología y desarrollo

Para alcanzar los objetivos que se han definido en el punto anterior, y una vez identificado el problema, se diseñó un flujo de trabajo de **big data** cuyos ejes principales se articulaban en torno a la herramienta Power BI y las bases de datos existentes en el SharePoint.

Este proceso de **big data** con Power BI, constó de varias fases:

- Análisis del problema – Estudio previo
- Recopilación y preparación del dato – Estructura de SharePoint y Power Automate
- Modelado y análisis del dato – Power Query y programación de funciones
- Visualización del dato – Power BI y Visor web BIMGIS
- Monitoreo del dato en etapas posteriores – Fase de operación y mantenimiento

A continuación, se irán analizando punto por punto cuáles fueron los desarrollos llevados a cabo y cómo se obtuvo el resultado final.

3.1. Almacenamiento de la información.

La información recibida por MEXTYPSA se almacenaba en un SharePoint único. Debido a la magnitud del proyecto, **el volumen de información** bruto llegaba hasta los 70 terabytes. Power BI es un software diseñado para conectarse a bases de datos, el problema surgía cuando, al conectar con este SharePoint para leer las hojas Excel que recibían con los avances semanales de obra, el tiempo de espera llegaba a ser de varias horas en el mejor de los casos. Se comprobó que trabajar con este CDE conectado a Power BI no era una opción.

Para resolver este problema se diseñó un SharePoint espejo en paralelo que mostrase solamente los datos necesarios para monitorizar el avance de obra y los modelos BIM y GIS que se fueran a necesitar, en definitiva, actuaba como un filtro que separaba la información útil, de la innecesaria. Para conectar ambas bases de datos de manera eficaz, se usó **Power Automate** porque, además de realizar el proceso, permitía programarlo y que no supusiera un esfuerzo añadido. De una manera automática y mediante disparadores que se programaron, la aplicación funcionaba sola.

Para el desarrollo, primero se informó a MEXTYPSA de cuál sería la carpeta que tenía que recibir la información actualizada cada semana. Luego se creó un flujo que volcaba toda la información de esta carpeta en nuestro SharePoint espejo. Para evitar duplicidad de la información o pérdida, también se definió en el flujo de Power Automate que la información que ya se tenía en nuestro SharePoint de semanas anteriores se almacenase en una carpeta de copia de seguridad, por si llegado el caso hubiera que volver a ella.

En cuanto a la nomenclatura de los archivos, al igual que en BIM, era muy importante que tanto modelos BIM, como hojas de Excel, o datos GIS, mantuvieran una codificación. Este código era muy importante a la hora de leer los datos en Power BI ya que permitía un primer filtro y a raíz de él, ya se generaban las primeras interconexiones.

Con este procedimiento implementado, se acordó que cada lunes a las siete de la mañana automáticamente se desencadenara el flujo de Power Automate que mantenía nuestro SharePoint actualizado y a su vez únicamente ocupado por información que de verdad fuera relevante. El que Power BI tuviera que conectar a una base de datos más de diez mil veces menor, conseguía que la velocidad del dato aumentase, llegando a ser prácticamente instantáneo cualquier proceso o consulta que se quisiera realizar.

3.2. Proceso ETL

Esta es una de las partes más importantes, ya que es la base de todo el proyecto. Al recibir la información en Excel y sin estructura, Power BI no era capaz de realizar operaciones o trabajarla. Esto sumado a que el volumen llegaba a ser de millones de datos en algunas de ellas, repartidos en varias tablas por la misma hoja de Excel, dificultaba aún más su utilización. Algunas columnas tenían datos de formato diferente, campos vacíos, errores en la nomenclatura..., es por eso por lo que era crucial el convertir esta información en una tabla con un encabezado o fila superior común para todos los tramos, con datos sencillos y que pudieran también vincularse al software GIS para enriquecer a los modelos BIM y GIS que se tenían en él.

Para eso se utilizó **PowerQuery**, esta herramienta permitió mediante un procedimiento de **transformación del dato**, desgranar toda la información del Excel que era útil y replicarla automáticamente en una nueva hoja sin sobreinformación y con una **estructura reconocible**, muy sencilla y manejable.

Aunque carezca de importancia a nivel visual, este proceso es uno de los hitos cruciales del proyecto ya que es la fuente de datos donde conectan el resto de las aplicaciones. Se tuvo que dedicar especial esfuerzo en esta transformación de datos debido a que se trabajó con Excel y PowerQuery, hecho que dificultaba el tratamiento del dato. Como posteriormente se menciona en las conclusiones, el haber optado por una base de datos SQL habría facilitado en gran medida este proceso de extracción, transformación y carga del dato.

3.3. Desarrollo del cuadro de mando en Power BI

El cuadro de mando de Power BI se estructura en tres partes diferenciadas. Una parte lateral con botones que permite navegar entre las distintas visualizaciones y una parte superior para cambiar entre los diferentes esquemas de división. El centro se dejó para mostrar la información de manera visual y compacta. Para ilustrar mejor cuáles fueron los diferentes aspectos a monitorizar se adjunta la siguiente tabla explicativa.

Tabla 1 Distribución de la información en el cuadro de mando

Esquema división Power BI	
1. OBRA CIVIL	
1.1 Disponibilidad de Vía	
1.2 Plataforma de Vía	
1.3 Estructuras de cruce	
1.4 Obras Inducidas	
1.5 Suministros de material	
2. EDIFICACIÓN	
2.1 Estaciones, talleres y cocheras (Modelos BIM)	
2.2 Proyecto Ejecutivo	
3. CFE	
4. MATERIAL RODANTE	
5. PLANIFICACION OBRA	
6. ASPECTOS FINANCIEROS	

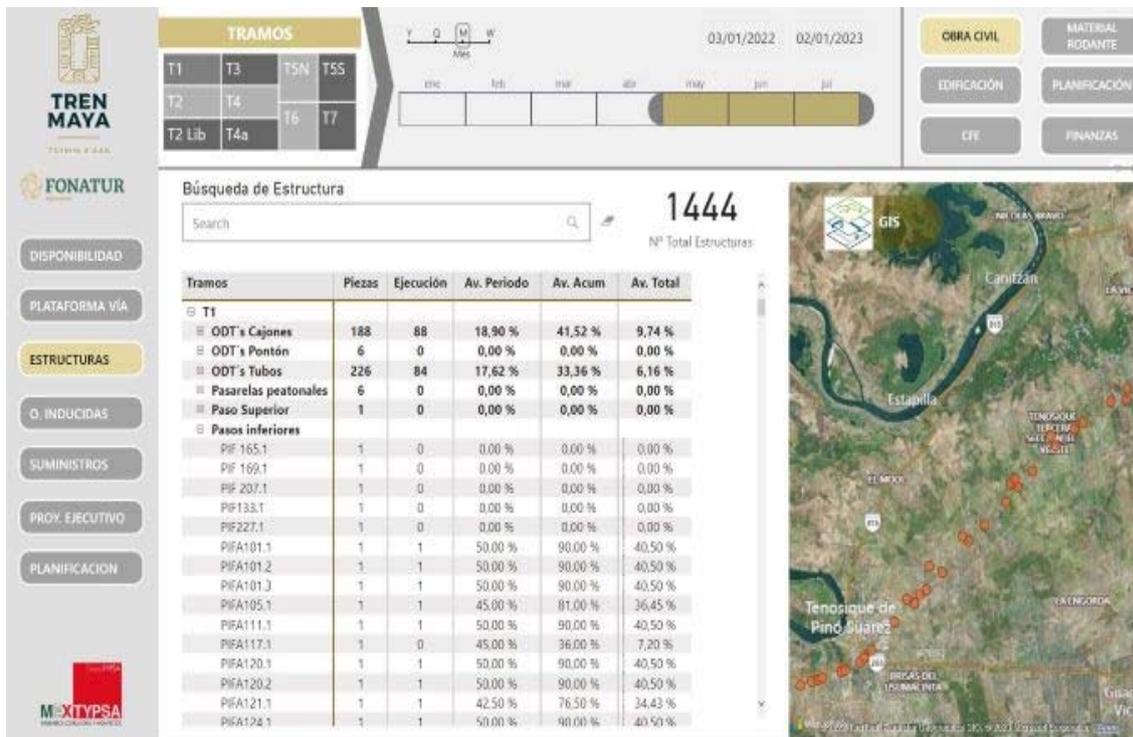


Fig. 3 Detalle cuadro de mando, Avance de estructuras. Fuente: Elaboración propia

Dentro de la obra civil era muy importante analizar el **estado de la plataforma de vía**, siendo un factor crucial el conocer el avance de los procesos de movilización de tierras, desmontajes de vía, subbalastos, balastos, durmientes y canalizaciones. Como se puede ver en la figura 4, las tablas daban la información de cada tramo, mostrando así cuál era el estado de la vía en la fecha que se seleccionase y a su vez en la

derecha de la imagen se ve como muestra la vía simbolizada según su estado, pudiendo así distinguir fácilmente dónde se encontraban los retrasos o los puntos en los que prestar mayor atención.

A su vez, **las estructuras de cruce, obras de drenaje y pasos de fauna** fueron otro punto muy importante. El cliente quería conocer de manera rápida y fácil cuál era el estado de cada estructura. Se diseñaron más de 1.000 estructuras de cruce entre los siete tramos. Sin embargo, el uso de Power BI permitía filtrar por nombre o por tramos, ir directamente a la estructura y conocer su porcentaje avanzado, su imagen actual si había sido tomada en obra, su porcentaje de adquisición de terrenos, y el desfase existente entre el avance programado y el avance real. Con estos datos era sencillo filtrar los mayores desajustes entre programación de obra y avances reales, hecho que facilitaba muchísimo las labores de seguimiento dentro del proyecto.

Algunas de las comprobaciones que se necesitó por parte de MEXTYPSA como se ha visto era poder controlar cuál era el avance de vía, dónde quedaban terrenos por adquirir, qué estructuras se habían avanzado, en qué porcentaje estaban construidas, qué derechos de vía habían sido comprados y cuáles no, qué frentes estaban activos o qué material faltaba por adquirir, entre otros. Para lograr todo este proceso, lo que se hizo fue dividir toda la información que se recibía filtrada por **puntos kilométricos** del proyecto. Esto daba como resultado unas tablas enormes e intratables a nivel individual pero que una vez limpias, podían conectarse a la información geográfica en ArcGIS PRO a través de ese mismo atributo, el punto kilométrico. Así, se localizaba la información no solo en el cuadro de mando a nivel alfanumérico, **sino que también aparecía en el visor BIMGIS** y de una forma muy directa se podía detectar cuáles eran los cuellos de botella del proyecto y cuál era el punto exacto de cada avance de obra en un momento determinado.

Toda esta información puede filtrarse en cada uno de los paneles del cuadro de mando por fecha y por tramo, siendo capaces así de mantener y analizar la trazabilidad de la información desde el inicio del proyecto. Al poder filtrar por estos datos en algunas visualizaciones, se podía vincular la imagen actual de la vía con los datos que en ese momento se habían seleccionado. Esta imagen provenía del visor WEBGIS que pese a alojarse en una URL externa al cuadro de mando tenía una conexión directa con él (Fig.4).

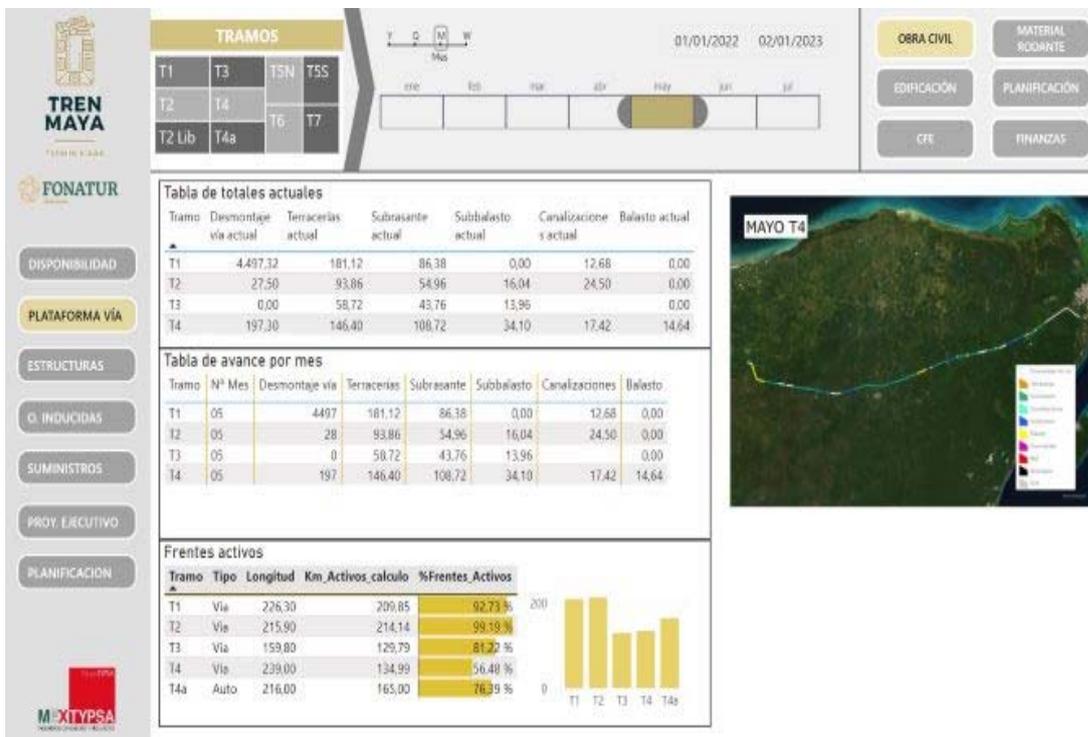


Fig. 4 Cuadro de mando del Tren Maya. Fuente: Elaboración propia

En la parte de finanzas se centró toda la información presupuestaria, los alcances que se habían fijado y las partidas destinadas a cada uno para así poder comparar lo estimado con lo real. Esto pese a no estar

directamente relacionado a la ingeniería de proyecto suponía una gran ventaja al tenerlo centralizado en una misma plataforma.

3.4. Desarrollo del visor WEB con ArcGIS PRO

Para el desarrollo de este visor se utilizó el software ARCGIS PRO de Esri. Las opciones que ofrece a través de su plataforma online hicieron que se optase por su uso, por encima de algunas opciones de formato abierto.

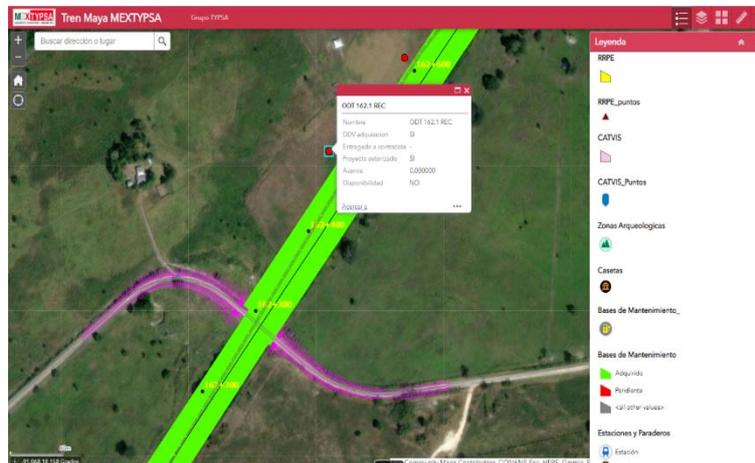


Fig. 5 Visor web BIMGIS de seguimiento de obra. Fuente: Elaboración propia

Los datos en GIS siguen la misma estructura que en BIM, **tienen una componente gráfica con una serie de parámetros asociados a cada elemento**. La base de datos donde se alojaban las capas y toda la información geolocalizada fue el mismo SharePoint espejo que se creó. Este hecho permitió trabajar de manera colaborativa con los compañeros de Méjico ya que todos los modelos se alojaban en los mismos directorios.



Fig. 6 Estación de ferrocarril visor BIMGIS. Fuente: Elaboración Propia

En el visor web se incluyó información de todo tipo, cualquier información de proyecto es susceptible de ser geolocalizada y por tanto reflejada en este tipo de visores. Esto genera un **gemelo virtual con el modelo BIM**, pero a su vez contextualizado en el territorio y rodeado de todos los elementos que afectan al desarrollo de un proyecto. Ya no se está hablando simplemente de elementos ambientales, o puntos arqueológicos de interés, se habla de datos sociológicos, de documentos en PDF, o de imágenes y vídeos. El producto que se genera es un gestor de proyecto, útil en todas las fases del ciclo de vida del activo, desde planificación hasta operación y mantenimiento.

En este caso el grueso del proyecto nunca fue el generar este tipo de gemelos virtuales, sin embargo, con el devenir del proyecto se fue viendo como la inclusión de este visor potenciaba la plataforma de visualización de datos en Power BI y asumía un rol protagonista a la hora de comunicar los avances o de transmitir la información al cliente y las constructoras.

Además, el hecho de que este visor se pueda acceder con móvil o Tablet y de manera totalmente remota, sin necesidad de programas ni conocimientos previos, democratiza su uso. A su vez extiende la red de usuarios que a la larga deriva en una mejora continua del visor debido a que la información fluye de manera bidireccional.

El visor se encuentra en el siguiente enlace web, donde se ha alojado una versión del mismo con algunos de los datos del proyecto que pueden visualizarse y sirven para intuir el funcionamiento.

<https://typsa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=f13462012e404190bbbf990be040283a>

4. Conclusiones

Tras finalizarse el proyecto y ponerse en funcionamiento, se llegaron a las siguientes conclusiones:

El trabajar con cuadros de mando asociados a proyectos tiene una **gran utilidad**, en tanto en cuanto, este cuadro de mando se conecte a información trazable, fiable, y se actualice de **manera automática**. La componente humana y manual de estos flujos hay que minimizarla al máximo puesto que únicamente conlleva retrasos y errores.

El **trabajar con Excel** es una rémora que se arrastra a día de hoy en el sector de la construcción, actualmente el mundo de la ingeniería está rodeado de nuevas posibilidades en cuanto a bases de datos se refiere y se debe apostar por su uso. En este caso una base de datos **SQL** hubiera mejorado la velocidad y la transmisión de la información, además de su almacenamiento y protección.

El **binomio BIMGIS**, más allá del marketing, es una **dupla ganadora**. La integración de modelos BIM en contextos geoespaciales junto con información medioambiental y sociocultural generan una potente herramienta de **toma de decisiones**, donde la anticipación, la prevención y la sostenibilidad aumentan de manera más que significativa.

El **dato como eje articulador de los proyectos**, más allá de las visualizaciones en 3D, de los vídeos de renderizado tan llamativos de hoy en día, de los miles de posibilidades a nivel gráfico que se ofrecen, realidad virtual, realidad aumentada... Detrás de todo esto hay modelos con datos y si estos datos no tienen una calidad, una estructura, una fiabilidad y una trazabilidad suficiente, el resto del proyecto perderá en importancia y será una mera representación vistosa de una realidad que no encierra valor. Es el momento de prestar la atención que requiere el dato, los parámetros, los atributos y los formatos. Vivimos en la era del dato y no cabe duda de que esto seguirá en aumento en los próximos años.

Referencias

ALLEN, M. y ABKOWITZ, M. (2022). *Enhanced GIS Legacy Database for TDOT Legacy Data Phase III: Power BI Applications*.

< <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/64538> > [Consulta: 19 de marzo de 2022].

BECKER, L. y GOULD, E. (2019). *Microsoft Power BI: Extending Excel to Manipulate, Analyze, and Visualize Diverse Data*.

< <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00987913.2019.1644891> > [Consulta: 28 de junio de 2022].

FENG, M. y SHINOZUKA, M. (2010). *Cost-effective vision-based system for monitoring dynamic response of civil engineering structures*.

< <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/stc.360> > [Consulta: 12 de mayo de 2022].

Gestión de la información mediante cuadro de mando asociado a un visor web BIM-GIS para el proyecto del Tren Maya, Méjico. Roldán-Hernández, Agustín.; Jiménez-Gil, Jonás.

HARODE, A. ENSAFI, M y THABET, W. (2022). *Linking BIM to Power BI and HoloLens 2 to Support Facility Management: A Case Study Approach.*

< <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/6/852>> [Consulta: 12 de mayo de 2022].

PEARSON, M. KNIGHT, B. KNIGHT, D. y QUINTANA, M. (2020). *Introduction to Power Automate.*

< https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4842-6008-1_9> [Consulta: 29 de mayo de 2022].

RODRIGUES, F. DINIS, A. y MATOS, R. (2022). *Construction Management Supported by BIM and a Business Intelligence Tool.*

< <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/9/3412>> [Consulta: 3 de marzo de 2022].

ROJAS, S. (2022). *Planteamiento de una herramienta de seguimiento y control de proyectos de construcción de infraestructura vial soportado en Power BI dentro de Joyco SAS BIC.*

< <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/63822>> [Consulta: 4 de abril de 2022].

SILVA, W. AMORIM, V. y DE MELO, B. (2021). *Application of Business Intelligence and Analytics in civil construction: a case study in a development company in Goiânia-GO.*

< <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/lean/article/view/4866>> [Consulta: 4 de abril de 2022].

WANG, H. y Pan, Y. (2019). *Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis.*

< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580518309828>> [Consulta: 3 de agosto de 2022].

BIZKAIA CONNECTED CORRIDOR (BCC) - LIVING LAB SENSORIZADO PARA TESTEO Y VALIDACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INFRAESTRUCTURAS SEGURAS Y CONECTADAS.

Quintana-Romo, Mikel^a; Capelastegui-Lasso, Abel^b y Alonso-Fernández, Olga^c

^aArquitecto, técnico senior en el Laboratorio de Servicios de Construcción Digital en Tecnalía, mikel.quintana@tecnalia.com; ^bArquitecto técnico, Responsable del Laboratorio de Servicios de Construcción Digital en Tecnalía, abel.capelastegui@tecnalia.com; ^cIngeniera técnica de minas e Ingeniera de Organización Industrial, técnica senior en el Laboratorio de Servicios de Construcción Digital en Tecnalía, olga.alonso@tecnalia.com

Abstract

The Bizkaia Connected Corridor, BCC, is a living lab where stakeholders (including companies, R&D partners, etc.) can experiment, test and demonstrate pioneering technologies of autonomous, connected and cooperative mobility and intelligent infrastructures. This can include both physical (materials, products) and digital (data) aspects. It also aims to support the development of test tools, innovative materials and innovative methods for validation.

BCC has four main working lines: (1) Digital twins: related to four specific infrastructure locations (a bridge, a tunnel, a road section of 200m and a slope) that have been sensorised and connected. (2) Test infrastructure: 1.200km of roads in the Bizkaia province are managed by BCC for use in testing and demonstration. (3) Cooperative corridor: focused on cooperative, connected and automated mobility. (4) Data hub: developed using big data technologies to extract all information and transform it into a useful format for users of BCC.

This article describes the development performed in working line (1) Digital twins in which a BIM web platform is being developed by using NET 5, React JS and the Autodesk Forge API. Among other features, this web application can display real-time data gathered by the sensorized infrastructures and stored in Azure cloud.

Keywords: Living lab, 3D web platform, real-time data, Autodesk Forge API.

Resumen

Bizkaia Connected Corridor, BCC, es un laboratorio de ensayo en situación de tráfico real donde diferentes agentes (empresas, departamentos de I+D, etc.) pueden experimentar y validar tecnologías relacionadas con la movilidad autónoma, cooperativa y conectada y las infraestructuras inteligentes. Estas pruebas abarcan aspectos físicos (materiales y productos) y digitales (datos), así como el desarrollo de nuevas herramientas de ensayo y métodos de validación.

BCC tiene 4 líneas de trabajo: (1) Gemelos digitales, 4 tipos de infraestructuras (puente, túnel, carretera y talud) que han sido sensorizados y conectados. (2) Infraestructura de testeo, 1.200km de carreteras de Bizkaia son gestionados por BCC para el testeo y validación de tecnologías. (3) Corredor cooperativo, enfocado a la movilidad autónoma, cooperativa y conectada. (4) Hub de datos, desarrollado mediante tecnologías de big data para convertir la información en un activo útil para los usuarios del BCC.

Este artículo describe el trabajo realizado en la línea de trabajo (1) Gemelos digitales en la que se está desarrollando una plataforma web BIM basada en NET 5, React JS y la API de Autodesk Forge. Entre otras funcionalidades, la aplicación web permite visualizar Información en tiempo real proveniente de la infraestructura instrumentada y almacenada en Azure cloud.

Palabras clave: Laboratorio real, Plataforma web 3D, datos dinámicos, Autodesk Forge API.

Introducción

La idea del *Digital Twin* (gemelo digital) no es nueva y el núcleo de la misma, construido en torno a las ideas de modelado y simulación de un proceso determinado, tiene largo recorrido. Aunque la primera definición formal del término apareció en 2010 en la NASA, sigue habiendo cierta controversia en cuanto al alcance que cada sector o empresa hace de la misma. A día de hoy, parece que la mayoría de los agentes coinciden en que un gemelo digital no debe limitarse a una mera representación “offline” de un activo, sino que debe alcanzar comportamientos dinámicos, utilizando la información adquirida durante el proceso real para fines como la simulación de alta precisión y la optimización de procesos (de Prada, 2022).

En la fase de conservación de las infraestructuras, las herramientas básicas utilizadas en la actualidad se reducen a la inspección visual por parte de técnicos de explotación o de conservación y a pequeñas campañas de levantamientos topográficos; algunas infraestructuras de carácter estratégico disponen de sensorización suficiente para que unos sistemas Scada puedan informar de anomalías puntuales. No obstante, gran parte de la información que se produce durante la vida de una infraestructura se está desperdiciando y de ella solo se utiliza una ínfima parte para decidir si la infraestructura presenta o no alguna anomalía. (Cortés, 2022).

La aplicación de nuevas tecnologías basadas tanto en sistemas inalámbricos como en instrumentación de última generación permiten cubrir las necesidades de monitorización actuales con un coste de integración mucho más bajo que los equivalentes tradicionales. La conexión remota al sistema permite la monitorización en tiempo real de la infraestructura, así como la interacción con la misma de cara a la programación de umbrales de alarma/supervisión y programación de eventos susceptibles de interés tales como paso de vehículos de gran tonelaje o sobre oscilaciones de la infraestructura. (Muñoz, 2018).

En este artículo se expone el trabajo realizado en el proyecto BCC para la generación de gemelos digitales de infraestructuras civiles. Se cubre tanto el despliegue de instrumentación realizado, como los protocolos de comunicación de datos y su visualización sobre modelos BIM en la plataforma TESCOR, una plataforma cloud que permite tener una monitorización real de las infraestructuras en un entorno de usuario 3D virtual e inmersivo.

1. Descripción general del proyecto

Bizkaia Connected Corridor o BCC es un *living lab* donde las partes interesadas (incluyendo empresas, grupos de empresas, socios de I+D, etc.) pueden experimentar, probar y demostrar tecnologías pioneras de movilidad autónoma, conectada y cooperativa e infraestructuras inteligentes. Esto puede incluir tanto aspectos físicos (materiales, productos) como digitales (datos). También tiene como objetivo apoyar el desarrollo de herramientas de prueba, materiales y métodos innovadores para la validación.

BCC se organiza como una colaboración público-privada entre la Diputación Foral de Bizkaia y TECNALIA. La financiación del proyecto supone, por tanto, una mezcla de cerca de dos tercios de financiación procedente de la administración pública local (aproximadamente 2,5 millones de euros) y alrededor de un tercio procedente de TECNALIA (valor de aproximadamente 1,1 millones de euros). La contribución de TECNALIA incluye contribuciones en especie, es decir, contribuciones en términos de tiempo y experiencia.

El proyecto comenzó en enero de 2021 y tiene un cronograma de cuatro años, con la posibilidad de extenderse por otros cuatro años.

1.1. Líneas de trabajo

BCC tiene cuatro líneas principales de trabajo:

Infraestructuras de ensayo: 1.200 km de carreteras del territorio vizcaíno son gestionados por el BCC para uso en ensayos y demostración.

Corredor cooperativo: Este despliegue tecnológico se centra en la movilidad cooperativa, conectada y automatizada, es decir, una movilidad en la que el coche se convierte en un sensor en sí mismo (por ejemplo, para avisar de posibles incidencias en la carretera). Se implementan los principios de datos abiertos, con la información abierta a todos.

Gemelos digitales: Esto está relacionado con cuatro infraestructuras específicas (un puente, un túnel, un tramo de carretera de 200 m y una pendiente) que han sido instrumentadas y conectadas a la plataforma en la nube de Microsoft Azure. También aquí se aplica un modelo de datos abiertos, donde cualquier persona que pueda necesitar este tipo de datos puede acceder a ellos. Los datos se pueden transmitir en tiempo real o descargar para su uso y prueba.

Centro de datos: para hacer realidad los principios de los datos abiertos, la implementación de tecnología y la línea de gemelos digitales mencionada anteriormente están conectadas a un centro de datos. El centro de datos se ha desarrollado utilizando tecnologías de *big data* para extraer toda la información y transformarla en un formato útil para los usuarios del BCC.

Actualmente, la primera línea está totalmente disponible, aproximadamente el 20% de la segunda línea, el 70% de la tercera línea y el 75% de la cuarta línea están desarrollados. Se espera que estas líneas estén finalizadas en el tercer año del proyecto, mientras que la explotación se extenderá durante los cuatro años.

1.2. Agentes intervinientes

Los fundadores del BCC son la Diputación Foral de Bizkaia y TECNALIA. Los principales usuarios del BCC son empresas que quieren probar un desarrollo interesante en determinados aspectos de sus productos, equipos, algoritmos, etc. También organizaciones y redes de investigación y desarrollo, como centros tecnológicos y universidades, hacen uso de los datos del BCC o del demostrador para sus desarrollos.

Además de los fundadores y usuarios de BCC, también participan proveedores para tareas específicas, por ejemplo: conexión de sensores con el centro de gestión de datos de transporte existente, gestión del sistema de gestión Microsoft Azure, etc.

2. Infraestructuras inteligentes

2.1. Instrumentación y tipos de monitorización

Gracias a las tecnologías IoT (*Internet of Things*) con las últimas versiones en sensores es posible llevar a cabo una monitorización estructural preventiva. Las variables clave son recibidas en potentes aplicaciones informáticas que detectan cualquier variación sospechosa de señalar un deterioro. Las inclinaciones, corrosiones, carbonataciones, asentamientos, variaciones de densidad etc., sirven como indicadores del estado general de una estructura y el seguimiento de los valores permite asegurar la conservación de un equilibrio estructural compatible con el uso civil. (Ingenieros Asesores, 2022).

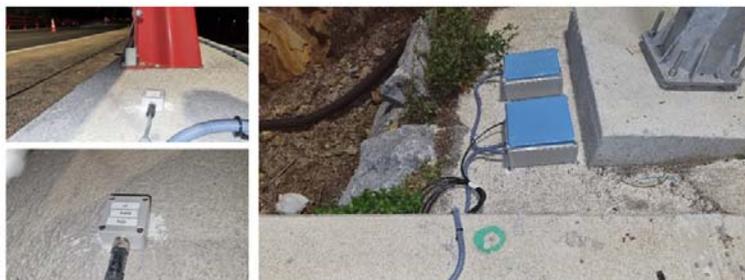


Fig. 1 Instrumentación instalada en el viaducto de Kukularra. Fuente: Informe Teknés (2022)

Por otro lado, la monitorización estructural correctiva, por el contrario, se aplica cuando aparecen indicios aparentes de un deterioro. Se busca determinar el alcance de los daños, encontrar la totalidad de las

causas que los han originado. Asimismo, se pretende recabar el máximo volumen de datos útiles para planificar las actuaciones que restauren el equilibrio perdido. La implementación de sistemas de monitorización a tiempo real, con posibilidad de alertas en caso de superar umbrales previamente establecidos y con los datos extraídos, permiten hacer una visualización en 3D de la situación estructural de la zona de estudio. (Ingenieros Asesores, 2022).

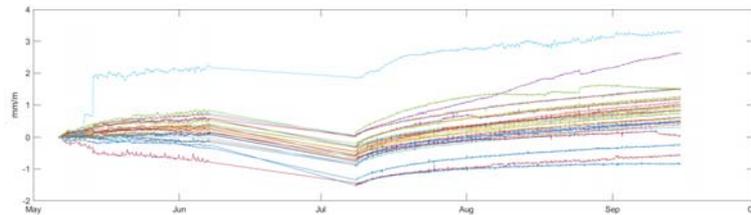


Fig. 2 Representación de los valores capturados por los sensores. Fuente: Informe Teknés (2022)

2.2. Protocolo de Comunicaciones

Para la correcta comunicación de los datos recogidos por los sensores se ha decidió emplear LoRaWAN como el protocolo de control de acceso a medios (MAC) para redes de área amplia. Este protocolo está diseñado para permitir que dispositivos de baja potencia se comuniquen con aplicaciones conectadas a Internet a través de conexiones inalámbricas de largo alcance. Tal y como se puede ver en la figura 3, los principales elementos desplegados en la red LoRaWAN son los siguientes:

Dispositivo final o nodo: un sensor o conjunto de sensores con un dispositivo de comunicación de bajo consumo integrado.

Puertas de enlace: forman el puente entre los dispositivos y el servidor de red LoRaWAN. Los dispositivos usan la red de baja potencia LoRaWAN para conectarse a la puerta de enlace, mientras que esta usa redes de alto ancho de banda como WiFi, Ethernet o Celular para conectarse al servidor de red.

Servidor de red: servidores que enrutan y procesan los mensajes desde los dispositivos finales a la aplicación correcta y viceversa.

Aplicaciones: elementos de software ejecutados en un servidor dedicados al tratamiento integral de la información recibida.

En general el servidor de red LoRaWAN incluye las funciones de enrutador responsable de administrar las puertas de enlace y de las funciones de control de las conexiones entre dispositivos y aplicaciones.



Fig. 3 Diagrama de comunicación de los datos recogidos por los sensores. Fuente: Tecnalía, plataforma TESCOR (2023)

2.3. Datalake como repositorio de Información.

El repositorio de información es un elemento crucial que da respuesta a muy diversos casos de uso, desde movilidad hasta pruebas de conectividad 5G y, por supuesto, su objetivo es alimentar con información de valor a los servicios que el usuario del BCC plantea.

La arquitectura general de la arquitectura del repositorio está formada por dos conceptos clave: el concentrador de datos y el *datalake*. El diagrama conceptual de la figura 4 muestra la arquitectura general y la interconexión entre ambos módulos, así como las principales fuentes consideradas: balizas de tráfico, cámaras de diferentes tipos y una amplia variedad de sensores. En la figura 4 puede verse como el concentrador actúa de mediador entre el *datalake* y las diferentes fuentes, potenciando la interoperabilidad. La conexión hacia las balizas únicamente es de recolección de datos. En el caso de otros orígenes, como cámaras o dispositivos IoT, podríamos establecer peticiones específicas, siendo la comunicación bidireccional.

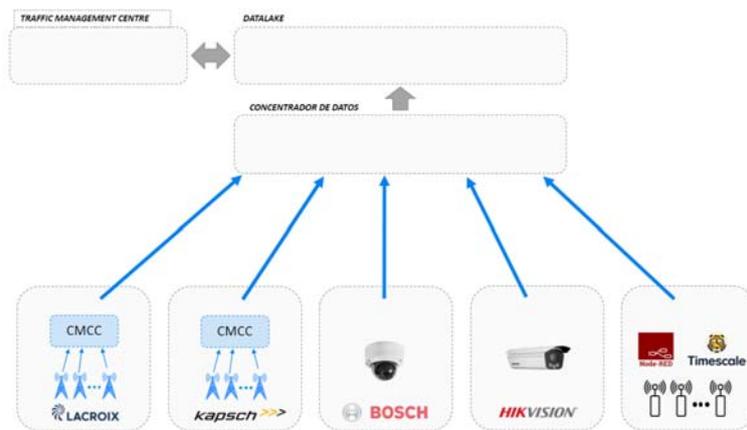


Fig. 4 Diagrama de flujo entre los sensores y el *datalake*. Fuente: Tecnalía, plataforma TESCOR (2023)

A continuación, se detallan los dos componentes principales:

Concentrador de datos: El concentrador es el subsistema encargado de recopilar los datos antes de su persistencia en el *datalake* y aligerar a este de ciertas transformaciones, o modelizaciones que pueden llevarse a cabo en la fase de captación. El concentrador de datos surge como propuesta a solventar la interoperabilidad entre diferentes balizas, cámaras o sensores IoT.

BCC *datalake*: El repositorio o *datalake*, sigue un enfoque de persistencia polígota, en el que para conseguir cubrir los distintos requisitos que impongan las muy diversas fuentes de datos se opta por un conjunto de diversas tecnologías de almacenamiento integradas para dar una visión común. Este no es otro enfoque que el de ofrecer a cada tipo de dato/caso de uso la tecnología más adecuada en rendimiento, modelado y seguridad. En el BCC, al querer tener el control de esta ingesta de datos desde el concentrador, sobre la tecnología ELK se ha generado un API específico para insertar datos en Elastic (API de gobernanza) y así poder auditar y tener una gobernanza del dato más detallada.

2.4. Infraestructuras instrumentadas

2.4.1. Túnel de Arraiz

La primera infraestructura instrumentada en el BCC ha sido un tramo de los túneles de Arraiz. Este túnel, en sentido Cantabria, tiene un ramal de salida a la altura del PK 119+100 aproximadamente, donde la galería principal del túnel se ensancha para dar cabida a un carril adicional de salida que se separa del eje principal. Este ramal de salida conecta la AP8 con la BI 636 en el PK 6+200 aproximadamente.

El túnel presenta un número relevante de fisuras, así como una presencia muy importante de agua, los cuales han sido los principales motivos de la instalación de esta instrumentación.

El objetivo es evaluar la variación del estado tensional en varias secciones de esta bóveda mediante galgas extensométricas, apoyando el estudio mediante la instalación de miniprismas que permitan realizar un seguimiento de los desplazamientos mediante topografía. La instalación se compone de 3 secciones diferenciadas:

Sección 0: Cuenta con 5 miniprismas

Sección 1: Cuenta con 6 galgas extensométricas y 5 miniprismas

Sección 2: Cuenta con 6 galgas extensométricas y 5 miniprismas

2.4.2. Viaducto de Kukularra

La segunda infraestructura instrumentada ha sido el viaducto de Kukularra, estructura 2620 sobre la BI-637, en el PK 8+150.

Se han instalado 2 acelerómetros triaxiales, de fabricación propia en Teknés. Los sensores recogen aceleraciones en los 3 ejes de manera continua y registra las aceleraciones con una frecuencia de 100 Hz. El rango de medida de los acelerómetros es de +/- 2g.

2.4.3. Talud del corredor del Cadagua

La tercera y última infraestructura instrumentada ha sido el talud del corredor del Cadagua en el margen derecho de la BI-636, en el PK 5+500. La instalación realizada consta de dos perforaciones:

Perforación A: cuenta con un piezómetro instalado a una profundidad de 24.78 m, entregando los valores de presión de agua (en bares) cada 15 minutos.

Perforación B: contiene un "array" de 27 clinómetros que proporcionan los giros en X, en Y y en Z cada hora. Los clinómetros están unidos entre si mediante una varilla metálica de manera que forman una única entidad, que permite que permanezcan a la misma cota cada uno de ellos. El espaciado entre cada sensor es de 1 m y el primero se encuentra a 1 m de profundidad.

3. Gemelos digitales de infraestructuras: La plataforma TESCOR

Respondiendo a la segunda línea de trabajo del BCC, la plataforma TESCOR se ha desarrollado con el propósito de interconectar la información de los sensores desplegados en las 3 infraestructuras mencionadas con los modelos BIM de dichas infraestructuras y tener una monitorización real de estas en un entorno de usuario 3D virtual e inmersivo que permite vincular y gestionar todos tus datos digitales.

Como se explicará en los siguientes puntos, la plataforma TESCOR es accesible desde cualquier dispositivo con un navegador web y conexión a internet. La web incluye un visor de elementos BIM y hace uso de las APIs de Autodesk Forge para permitir la visualización de las diferentes vistas contenidas en cada *digital twin*.

Cada modelo BIM accesible a través del visor web 3D, vincula la ubicación real de los sensores posicionándolos dentro del propio modelo BIM a través de sus coordenadas. Además, el usuario puede interactuar con estos sensores, consultando la información que recogen en tiempo real para visualizarla en forma de gráficos. El diseño de la capa de visualización se ha desarrollado sobre el *framework* y librerías *front-end* de Angular CLI, permitiendo la carga y navegación entre elementos de forma asíncrona, evitando recargas de página y proporcionando una experiencia de usuario fluida y sin intervalos de espera.

3.1. Modelos BIM

Hasta el momento se han generado 3 modelos BIM correspondientes con las 3 infraestructuras instrumentadas: viaducto, túnel y talud. Los modelos BIM se han generado en Autodesk Revit con el objetivo principal de conseguir una representación tridimensional sencilla de las infraestructuras sobre las

que apoyar los diferentes sensores instalados sobre ellas y visualizar los valores recogidos por dichos sensores.

El nivel de información añadida a los modelos se ha limitado a la correcta identificación de los elementos de modelo y a la vinculación de documentación externa, tal como fichas técnicas o planos de detalle de algunos elementos de la infraestructura y los sensores instalados.

Además, con el objetivo de mejorar la calidad gráfica del modelo y facilitar su interpretación por los usuarios, se ha optado por una representación fotorrealista del entorno próximo a las infraestructuras. Para ello, se ha realizado una proyección de una ortofoto sobre una malla 3D obtenida a partir de un modelo digital del terreno (MDT).



Fig. 5 Modelo BIM del viaducto de Kukularra. Fuente: Tecnalia, plataforma TESCOR (2023).

3.2. Tecnologías empleadas

Para el desarrollo de la plataforma TESCOR se han empleado diferentes tecnologías, entre las que destacan las siguientes:

- ReactJS para generar la interfaz web.
- Una API REST, el *backend* de la plataforma, a modo de servidor de datos e intermediaria con los servicios de Autodesk
- Autodesk Platform Services (APS) y varias de las APIs que ofrece para la implementación de las diferentes funcionalidades presentes en TESCOR.
- BIM360 para la gestión de proyectos y el almacenamiento de modelos 3D.
- Azure que utilizamos para servir la interfaz web, la API REST y las bases de datos necesarias para la aplicación.

En el siguiente diagrama podemos observar la relación entre las tecnologías empleadas en la plataforma:

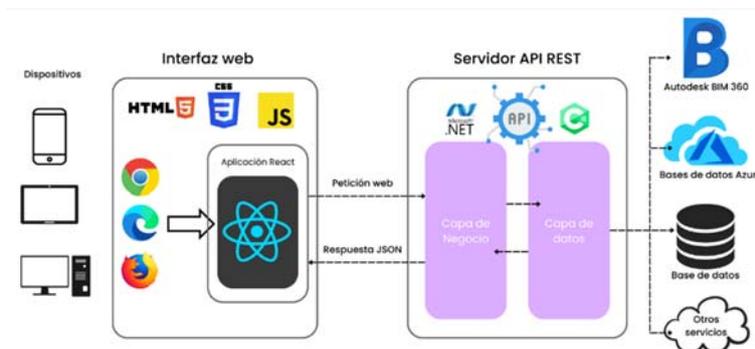


Fig. 6 Diagrama general de las tecnologías empleadas en la plataforma TESCOR. Fuente: Tecnalia, plataforma TESCOR (2023)

3.3. APIs empleadas

Gran parte del desarrollo de TESCOR se basa en el empleo de Autodesk Platform Services (APS), anteriormente conocido como Autodesk Forge. El paquete de APIs ofrecido por APS nos proporciona la lógica y las funcionalidades necesarias para generar una representación 3D de las infraestructuras y los datos de la instrumentación instalada en un entorno WEB.

Las APIs que empleamos en la plataforma son las siguientes:

- Authentication: nos permite gestionar el acceso de los usuarios a la plataforma y protegerla de posibles intrusos.
- BIM 360: se utiliza como repositorio documental para la gestión de proyectos y el almacenamiento y subida a la plataforma web de los modelos BIM y la información vinculada a ellos. Además, también permite gestionar los diferentes niveles de permisos a través de los cuales los usuarios pueden ver, cargar, editar y/o administrar los proyectos.
- Model Derivate: se emplea para subir y transformar el formato de los modelos BIM a SVF2, es decir, el formato por defecto en el que se visualizan los modelos en el visor web de APS. También nos permite transformar casi cualquier tipo de fichero 3D a SVF2 ya que es compatible con más de 60 formatos diferentes.
- Viewer: lo utilizamos para visualizar los modelos BIM y la información contenida en ellos.
- Data Visualization: es la API que más presencia tiene en la plataforma. Entre otras funcionalidades, nos permite visualizar los valores de sensores en los elementos de los modelos 3D, incluso empleando mapas de calor para representar dichos valores de manera estática y/o dinámica.

3.4. Acceso a la plataforma

Una vez aclarado lo que es APS y su papel en la plataforma, vamos a continuar explicando cómo funciona el *login* y cómo manejamos la seguridad de la plataforma.

Al entrar en esta nos encontraremos con un *login* propio que nos sirve como primer filtro para gestionar el acceso a nuestra plataforma. Después de este *login* tendremos que iniciar sesión con un usuario de Autodesk, ya sea de BIM360 o de algún otro servicio de Autodesk. Si no disponemos de una de estas cuentas o alguna de las cuentas de almacenamiento compatible con Autodesk no podremos visualizar ningún modelo BIM ya que la aplicación se conecta a estos servicios para poder visualizar los modelos 3D. También tendremos que aprobar el uso de los permisos que requiere la aplicación, que son los accesos a las APIs comentadas anteriormente.

Todo este proceso, desde el primer *login* hasta permitir los requisitos de la plataforma, conlleva una serie de comunicaciones que son casi transparentes para el usuario. Estas se enumeran a continuación:

- Se solicita la *url* de *login* a nuestra API REST.
- La API REST solicita a APS la *url* de *login*, que no la puede pedir directamente la interfaz web porque en el *backend* se almacenan unas claves necesarias para la generación de esta *url*, lo que garantiza que no cualquiera pueda solicitar la *url* y proporciona seguridad a nuestra plataforma.
- Si todo es correcto, APS responde a la API REST con esa *url* y el *backend* se encarga de redirigir al usuario hacia esa *url* donde tendrá que aceptar el consentimiento.
- El servicio de autorización de APS nos redirige a una parte del *front* que hemos configurado previamente y que se encargará de recoger y reenviar al *backend*.
- El *backend* recoge el código y lo envía de vuelta al servicio de autorización de APS para comprobar que no se ha manipulado y que es correcto.
- Si es correcto, APS nos devolverá un *token* de acceso que servirá para todas las futuras comunicaciones con el resto de APIs de APS a las que el usuario haya autorizado el acceso.

Además de eso, el *backend* se encargará de comprobar la caducidad del token y de renovarlo en caso de que este caduque, lo que hace que todo este proceso sea seguro y transparente para el usuario.

A continuación, se muestra una gráfica del proceso de acceso a la plataforma:

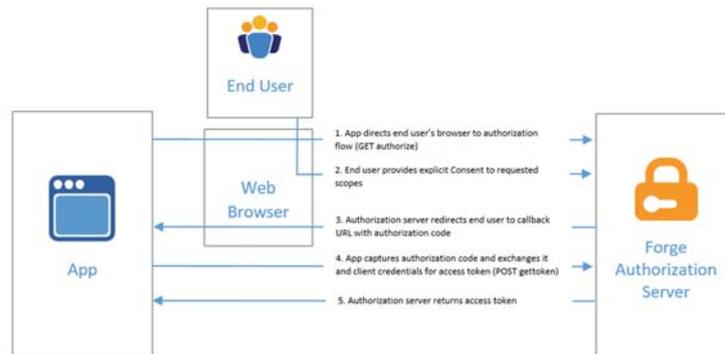


Fig. 7 Diagrama de acceso a la plataforma TESCOR. Fuente: Tecnalia, plataforma TESCOR (2023)

3.5. Gestión de proyectos y modelos

La administración de proyectos se realiza empleando la API de BIM 360 que nos permite conectar la plataforma BIM360 y todas sus funcionalidades con la plataforma TESCOR. De las diferentes APIs que hay disponibles dentro de BIM 360 utilizamos principalmente dos: BIM 360 Account Admin y BIM 360 Document Management

La primera nos permite administrar nuestra cuenta de Autodesk BIM 360 y los proyectos, miembros y datos de empresa contenidos en ella. También la empleamos para administrar los usuarios involucrados en cada proyecto, así como los permisos con los que participan.

La segunda API, nos permite almacenar y emplear toda la información contenida en cada proyecto: modelos BIM, planos 2D, imágenes, informes y cualquier otro documento de los proyectos a los que el usuario tenga acceso.

3.6. Visualización de modelos

La visualización de modelos BIM en la plataforma se basa en el empleo de la API Viewer que nos permite interactuar con el modelo, consultar información, seleccionar, ocultar, aislar elementos, tomar medidas, descomponer el modelo, etc.

La principal ventaja de esta API es que nos permite visualizar en la plataforma los diferentes modelos BIM almacenados en la cuenta de BIM360. Empleando diferentes herramientas de desplazamiento, órbita y zoom podemos recorrer el modelo BIM de manera aérea o generar recorridos en primera persona. Los modelos BIM pueden ser descompuestos para ver los diferentes elementos que los componen y tomar medidas de distancias y ángulos directamente en el visor.

Además, la API nos da acceso a toda la información vinculada previamente al modelo BIM. A través de los paneles de propiedades, que pueden configurarse anclados a algún lateral del visor o integrarlos en él, podemos repasar los diferentes parámetros del modelo o acceder a la información vinculada al modelo mediante enlaces externos.

Finalmente, la API nos permite visualizar conjuntamente modelos BIM que no han sido previamente federados. Esta vinculación se realiza seleccionando los diferentes modelos que se quieren visualizar y subiéndolos conjuntamente al visor web.

3.7. Visualización de sensores

Por último, seleccionando la función de IoT integrada en la interfaz de la plataforma accederemos a la visualización de sensores y la representación gráfica de sus valores. Esta parte de la interfaz hace uso de la API de Data Visualization de APS para representar los valores de los sensores de manera estática, es decir, eligiendo un momento puntual, o de manera dinámica, eligiendo un tramo determinado de tiempo. Actualmente, la latencia del sistema solo permite representar datos recogidos con +/- 10 minutos de anterioridad.



Fig. 8 Visualización de sensores en la plataforma TESCOR. Fuente: Tecnalia, plataforma TESCOR (2023)

Todos los valores recogidos por los sensores son almacenados en unas bases de datos de series temporales en los servicios de Azure. Posteriormente, estos datos son recogidos y procesados por el *backend* para pasarlos a la API de Data Visualization. Esta los representa casi automáticamente y dibuja mapas de calor en aquellos elementos sobre los que se han instalado los sensores. Estos mapas de calor se configuran en las propiedades del sensor estableciendo un valor mínimo y un máximo.

La API REST es capaz de consumir datos de cualquier fuente y vincularlos a un modelo 3D. Esto nos permite configurar y asignar los sensores a los diferentes elementos de modelo que nos interese. Posteriormente, esta configuración se almacena en una base de datos y es consumida para dibujar los sensores en el Modelo 3D con la ayuda de la API Data Visualization.

En esta interfaz también podremos ocultar y volver a mostrar tanto los sensores como los mapas de calor permitiéndonos interactuar con el modelo más limpiamente. También podremos modificar el rango de fechas para visualizar otros datos del pasado o reproducir los valores de los sensores para ver cómo van variando los colores en el rango de fechas que hayamos seleccionado.

4. Conclusiones

En conclusión, el Bizkaia Connected Corridor (BCC) es un proyecto innovador y ambicioso que busca transformar la movilidad a través de la experimentación y validación de tecnologías de movilidad autónoma, conectada y cooperativa. El BCC ofrece un laboratorio real donde empresas, socios de I+D y otros actores pueden probar y demostrar sus soluciones de movilidad inteligente, lo que representa una gran oportunidad para impulsar la innovación y el desarrollo económico en la región.

La plataforma TESCOR del Bizkaia Connected Corridor (BCC) permite vincular la información de los sensores con los modelos BIM de las infraestructuras instrumentadas. De esta manera, se logra una monitorización en tiempo real en un entorno de usuario 3D virtual e inmersivo mediante el empleo de tecnologías y APIs como NET 5, React JS, Autodesk Forge, Azure Cloud, y Angular CLI. Los usuarios pueden interactuar con los sensores y visualizar la información que recogen en forma de gráficos. También pueden utilizar herramientas de desplazamiento, órbita, zoom y paneles de propiedades para explorar los diferentes parámetros del modelo y acceder a la información vinculada al mismo mediante enlaces externos. Los valores de los sensores son almacenados en bases de datos de series temporales en los servicios de Azure, posteriormente recogidos y procesados por el *backend*, y dibujados en el modelo 3D con la ayuda de

la API de Data Visualization, permitiendo configurar y asignar los sensores a los componentes deseados y establecer un mapa de calor en las propiedades del sensor.

Sin duda, el BCC se perfila como un proyecto clave en la transformación digital de la movilidad.

5. Próximas líneas de trabajo

5.1. Infraestructuras instrumentadas y modelos BIM

Hasta el momento se ha llevado a cabo la sensorización de 3 infraestructuras, quedando pendiente el despliegue de sensores en un tramo de la autopista AP-8. Aún está por definir el punto kilométrico en el que se realizará la instalación, pero se estima que será en algún tramo próximo a la localidad de Durango, Bizkaia. La instrumentación instalada cubrirá la monitorización de la temperatura y la humedad de este tramo de carretera, así como el pesaje dinámico de los vehículos que circulan por ella. Los datos recogidos se gestionarán bajo el mismo protocolo de comunicación LoraWAN IoT, en el que la información recogida por los sensores es llevada a un concentrador de datos y posteriormente al *data lake* del BCC.

5.2. Migración a TOOEEEN

Como se ha descrito en el punto 3 del artículo, gran parte del desarrollo del BCC se apoya en el software APS y su conjunto de APIs. Uno de nuestros objetivos a futuro pasa por desvincularnos progresivamente de Autodesk y migrar hacia TOOEEEN, una plataforma de software libre similar a APS que actualmente está bajo desarrollo.

La razón principal de esta decisión es aumentar el control que tenemos sobre el software y sus funcionalidades. Necesitamos que el software sea flexible y escalable y, en este sentido, vemos ciertas limitaciones en APS, ya que algunas funcionalidades pueden ser complejas de adaptar a nuestros casos de uso.

5.3. Futuras funcionalidades de la plataforma TESCOR

Además de las funcionalidades descritas en los párrafos anteriores en relación con la monitorización de infraestructuras y visualización de datos sobre modelos BIM, una de las futuras líneas de trabajo del BCC está centrada en preparar dicha plataforma para ser interoperable con nuevos paradigmas de gestión y sistemas "Data Driven", como pueden ser:

- Mantenimiento Predictivo, Data Analytics (DA): Se examinan los datos en bruto con el fin de extraer conclusiones sobre esa información. El análisis de datos se centra en la inferencia, el proceso de obtención de una conclusión basada exclusivamente en lo que ya es conocido por el investigador, lo cual ayuda en la definición de un mantenimiento predictivo. Se usan técnicas de analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva.
- Inteligencia Artificial (IA): A través de la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear situaciones que presenten las mismas capacidades reales.
- Big Data: Tecnología basada en el análisis masivo de datos, tan grande que las aplicaciones de procesamiento de datos que se venían usando no son capaces de capturar ni tratar, siendo datos estructurados, semiestructurados y no estructurados que tienen el potencial de ser extraídos para obtener información y predecir comportamientos a futuro.

Referencias

Cortés J., René N. (2022), La inteligencia artificial en el mantenimiento de infraestructuras civiles. Issuu. <https://issuu.com/origenperegrino/docs/19_noticreto_17_completo/s/13344789> [Consulta: 02 de marzo de 2023]

Bizkaia Connected Corridor (BCC) - Living lab sensorizado para testeo y validación de tecnologías de infraestructuras seguras y conectadas. Quintana-Romo, Mikel; Capelastegui-Lasso, Abel y Alonso-Fernández, Olga.

DE PRADA, C., GALÁN-CASADO, S., PITARCH, J.L., SARABIA, D., GALÁN, A., GUTIÉRREZ G. (2022). "Digital Twins in the Process Industry." en Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 2022, 19, 285-296.

EL CORREO. Un banco de pruebas de 1.200 kilómetros para las empresas vascas del sector. <<https://www.elcorreo.com/bizkaia/banco-pruebas-1200-20220812205611-nt.html> > [Consulta: 02 de marzo de 2023]

EUROPAPRESS. La autopista inteligente Bizkaia Connected Corridor instala sus 50 balizas en 2022 y estará plenamente operativa en 2024. <<https://www.europapress.es/euskadi/noticia-autopista-inteligente-bizkaia-connected-corridor-instala-50-balizas-2022-estara-plenamente-operativa-2024-20220107114459.html> > [Consulta: 02 de marzo de 2023]

INGENIEROS ASESORES. Monitorización estructural de puentes: auscultación (ingeniería) y control de estructuras. <<https://ingenierosasesores.com/actualidad/monitorizacion-estructural-puentes-auscultacion-y-control-de-estructuras/>> [Consulta: 02 de marzo de 2023]

MUÑOZ O., SÁNCHEZ J.C., CAPELASTEGUI A., PÉREZ J., PÉREZ J.A., LÓPEZ P.L. (2018). "Sistema inteligente, sostenible e integrado de gestión de estructuras. Intelligent, sustainable and integrated structure management system." en Anales de Edificación, 2018, Vol. 4, nº2,40-47.

TECNALIA. BCC cuenta ya con el viaducto de Kukularra instrumentado. <<https://www.tecnalia.com/noticias/bizkaia-connected-corridor-viaducto-kukularra-instrumentado> > [Consulta: 02 de marzo de 2023]

TECNALIA. Plataforma TESCOR. <<https://bcc.mytecnalia.com/>> [Consulta: 02 de marzo de 2023]

TEKNES. Instrumentación de la estructura 2620 en Kukularra. Informe 0. < PR_0243_INF_0.pdf (sharepoint.com) > [Consulta: 02 de marzo de 2023]

PLANNERLY. My Top 5 Uses of Digital Twins with BIM for AECO. <<https://plannerly.com/digital-twin-bim/>> [Consulta: 02 de marzo de 2023]

HUBE: DEL PROYECTO DE EJECUCIÓN AL DISEÑO Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Pedrajas-García, Rafael^a; Van Horenbeke-García, Álvaro^b; Cortés-Jiménez, Hernán^c; Rosel-Ruiz, Iván^d y Borraz-Mir, Antón^e

^aGRUPO LOBE Estudios - Planificación, rafael.pedrajas@grupolobe.com , ^bGRUPO LOBE Proyectos , alvaro.van@grupolobe.com , ^cGRUPO LOBE Proyectos , hernan.cortes@grupolobe.com , ^dGRUPO LOBE Producción, ivan.rosel@grupolobe.com . ^eGRUPO LOBE TIC - Innovación, anton.borraz@grupolobe.com

Abstract

GRUPO LOBE is an enterprise that carries out its business activity in development, project design and construction in the real estate sector. It has managed to conduct a comprehensive digital transformation that covers all building process phases, which range from project design to the management of the integral building execution, through digitized BIM projects.

To achieve this, we have created our own software – HUBE, which allows obtaining automatically the real-time project data while its development is taking place through connections of the BIM model with our own databases which are structured to get fulfill that functionality. HUBE also allows us to design the production project before construction, and the management and monitoring of the integral building site execution. These data production allow us to analyze the productivity of all production processes in action, as well as cost control.

This digitization is applied to all projects managed by our organization, making it our routine work methodology for all areas of the company, having done and executed projects for more than 2.400 homes using this system.

Keywords: *business transformation, digitization, industrialization, sustainability, processes, productivity, standardization.*

Resumen

GRUPO LOBE es una empresa que desarrolla su actividad en la promoción, desarrollo de proyectos y construcción en el sector inmobiliario, que ha sabido realizar una transformación digital integral que abarca todas las fases del proceso edificatorio, desde el diseño del proyecto a la gestión de la ejecución de obra de forma integral desde proyectos digitalizados BIM.

Para ello, hemos desarrollado nuestro propio software – HUBE, que permite la obtención de forma automática de los datos del proyecto a tiempo real mientras se realiza su desarrollo, mediante conexiones del modelo BIM con bases de datos propias estructuradas para la obtención de todos los datos necesarios, así como permite el diseño del proyecto de producción previo a la ejecución de obra, y la gestión y seguimiento de la ejecución de obra de forma integral, obteniendo datos reales de producción que permiten analizar la productividad de todos de los procesos productivos que se están ejecutando, así como el control de costes.

Esta digitalización se aplica en la totalidad de proyectos que se realizan en la organización, convirtiéndola en nuestra metodología rutinaria de trabajo para todas las áreas de la empresa, habiendo desarrollado y ejecutado mediante este sistema proyectos para más de 2.400 viviendas.

Palabras clave: *transformación empresarial, digitalización, industrialización, sostenibilidad, procesos, productividad, estandarización.*

Introducción

La consideración del proceso de ejecución de obra como una cadena de montaje cambia la metodología del sistema de construcción convencional establecida en el sector, en la que la baja productividad de los procesos, unido a una falta de mano de obra cualificada y al aumento de costes de materias primas y materiales, hacen obligatorio buscar caminos que lleven hacia metodologías industrializadas con un alto índice de productividad, mejorando la calidad del producto inmobiliario, las condiciones laborales y creando una actividad económica de calidad.

En este cambio metodológico, la digitalización cuenta con un papel fundamental, pero teniendo claro desde el principio que ésta debe ser totalmente operativa y funcional para dar solución integral a todos los procesos desde el desarrollo del proyecto hasta el control y seguimiento de la producción en obra.

El objetivo es diseñar para producir, crear modelos digitales pensando en la fabricación, aportando a estos modelos toda la información necesaria para que puedan automatizar la totalidad de procesos desde el diseño del proyecto hasta la ejecución de obra y sean capaces de darnos datos e información a tiempo real que permitan el análisis de lo que está ocurriendo en cada proceso.

En esta comunicación queremos compartir nuestra experiencia de lo que ha supuesto para GRUPO LOBE la transformación digital integral en toda la organización y los grandes beneficios que ésta nos está aportando, y a su vez, compartir el mensaje de que realmente ES POSIBLE Y YA ES UNA REALIDAD, que la digitalización bien enfocada, con un objetivo claro de conocer por qué y para qué vamos a digitalizar y realizando una transformación integral de todos los procesos de una forma diferente a como conocemos en el sector hasta la fecha, permiten transformar a organizaciones para la creación de productos diferenciales con elevados niveles de calidad y sostenibilidad que aportan al mercado, con obtención de unos muy elevados índices de productividad.

Esta transformación no ocurre de un día para otro. No ha sido un camino fácil, con cada paso avanzado, nos hemos encontrado con un nuevo muro a derribar y superar, pero con la necesaria visión, implicación y espíritu de superación de toda la organización, hemos conseguido que esta metodología sea actualmente nuestra forma de trabajo habitual para todos nuestros proyectos.

1. La transformación empresarial. El porqué del cambio de modelo de negocio

Grupo Lobe nace en 1987 con la denominación Construcciones Lobe, empresa constructora según modelo de negocio tradicional del sector, especializada en edificación residencial, con actividad también en edificación no residencial y obra civil, en obra privada y pública, con alto volumen de cifra de negocio.

La crisis económica de 2008 hizo que un gran número de empresas del sector desaparecieran, afectando a organizaciones de mayor y menor dimensión. Las organizaciones que se pudieron mantener activas vieron reducida su actividad drásticamente, perdiendo, como fue el caso de Construcciones Lobe, a la mayoría de sus potenciales clientes como eran las empresas promotoras con las que mantenía su nivel de actividad.

Como se suele decir, cualquier crisis puede convertirse en una oportunidad si se enfoca de la manera correcta. En 2010 surgió Grupo Lobe, con la idea de ser un nuevo modelo de organización dentro del sector que aunase toda la experiencia adquirida durante el desarrollo de su actividad previa con la necesaria ambición y visión de crear un nuevo modelo productivo en el que primase la máxima calidad del producto a realizar enfocado a nuestro cliente, aunando para ello en una misma organización a todos los agentes implicados en el proceso edificatorio. Como sustento a este cambio de metodología, se vio en aquel momento que la digitalización, muy incipiente en esa época todavía, podía ser un pilar fundamental que ayudase en esta transformación.

A día de hoy, algo más de 12 años después, podemos explicar nuestra experiencia, camino andado y resultados obtenidos en la apuesta firme por la digitalización, que aunado con el resto de pilares en los que se sustenta Grupo Lobe, han convertido a esta organización en lo que es actualmente, consiguiendo grandes hitos como son el ser el primer operador a nivel nacional y uno de los mayores de Europa en

diseño y ejecución de viviendas certificadas Passivhaus, o el hito de ser considerada en 2022 la quinta promotora a nivel nacional con mayor número de viviendas finalizadas, todas ellas certificadas Passivhaus, el certificado más exigente a nivel mundial en reducción de demanda energética.

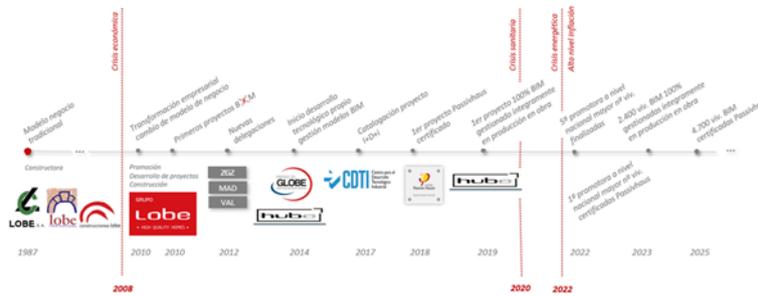


Fig. 1 Diagrama temporal evolución Grupo Lobe (2023)

2. Apuesta por la digitalización. Los inicios.

Los primeros pasos en digitalización BIM fueron sobre proyectos que en ese momento en 2010 teníamos en pleno proceso de ejecución (lo más correcto sería eliminar la letra I de estos primeros proyectos asociada a la Información que se supone implícita en la metodología). El primer objetivo era tener un modelo tridimensional que nos pudiese ayudar a comprobar la cuantificación de mediciones de algunas de las partes más importantes y sencillas del proyecto para compararlas con las cantidades contratadas. Primero sólo cimentación y estructura, luego cerramientos exteriores, luego arquitectura interior. De instalaciones BIM en aquel primer momento, ni hablábamos.

Definir todos los objetivos o alcance real a conseguir con la digitalización cuando te adentras por primera vez es un hecho que nuestra experiencia dice que es altamente complicado de discernir en un inicio, pero si se tiene claro el objetivo real que se desea conseguir, te hará avanzar en la dirección correcta. Sin saber en ocasiones si tomas el camino correcto o si existe camino o lo estás creando, pero con la convicción de saber cuál es la meta a la que se quiere llegar. En nuestro caso la meta estaba clara, la digitalización nos debía servir para poder diseñar para producir.

Con el paso del tiempo y la experiencia que el equipo de Oficina Técnica iba adquiriendo, esos modelos BIM iban evolucionando y ampliándose a más parte de los proyectos que teníamos en ejecución. Llegamos a una fase en la que podíamos llevar esos modelos BIM a obra para poder comparar parte de los procesos que se estaban ejecutando con los modelos BIM creados. No obstante, al igual que los proyectos base de las obras que se estaban ejecutando se habían hecho con métodos manuales tradicionales, la gestión de la ejecución de obra se realizaba de igual forma con métodos tradicionales. Había dos caminos paralelos pero no convergentes, uno el tradicional que se imponía y otro el digital del que no se llegaba a extraer su potencial real y se dejaba de lado porque poco uso se le podía dar.

El año 2014 fue clave para la toma de una gran decisión. Nuestro objetivo era introducir y extraer información válida para todos los procesos directamente del proyecto digitalizado, desde su diseño hasta su gestión en obra. Después de muchas pruebas internas con herramientas a nuestro alcance y de consultas a voces expertas, nos dimos de frente con uno de los primeros grandes muros que nos hemos ido encontrando en el camino. Si queremos cumplir nuestro objetivo de diseñar para producir, de crear proyectos totalmente digitalizados desde un principio, sin duplicidad de proyectos realizados por medios manuales a la vez, si queremos que estos proyectos digitalizados cumplan su misión de ser la única herramienta de gestión, introducción y extracción de datos sobre ellos mismos, tendríamos que realizar nuestra propia herramienta tecnológica. Se creó el PROYECTO GLOBE – Plataforma global para virtualización y optimización de los procesos industrializados en el sector de la construcción. En paralelo, se inició, en colaboración con una empresa especialista en desarrollos tecnológicos, la herramienta que daría soporte al proyecto. Nació HUBE.

Esto en sí fue un gran reto para toda la organización. Una empresa dedicada a la promoción, desarrollo de proyectos y construcción en el sector inmobiliario, debía convertirse a su vez, en una empresa de desarrollo tecnológico, apoyándonos y transformando todo el conocimiento y experiencia de todos los miembros de la organización en la creación de una herramienta digital, transformando todos los procesos manuales tradiciones en el desarrollo de nuestra actividad, digitalizándolos y convirtiendo éstos en procesos automatizados asociados a modelos digitalizados BIM.

A partir de ahí, un largo proceso de desarrollo, ensayo – error, frustraciones, proyectos cuya ejecución de obra, a pesar de gestionarse parte con modelos BIM, llegaban siempre a una fase en el que el propio proceso en obra superaba al modelo digitalizado y dichas obras debían finalizar para cumplir sus plazos definidos, pero de nuevo de forma tradicional. Una fuerte inversión y miles de horas de trabajo de todo un equipo de diferentes áreas de la organización que parecían irse a la basura. Ni mucho menos, era parte indispensable del aprendizaje. Lo cierto en este camino es que la propia digitalización nos daba siempre la misma lección, tu objetivo inicial es uno, pero una vez introducidos plenamente empiezan a aparecer objetivos nuevos altamente ilusionantes que ni te imaginabas en un principio.

En 2017 el PROYECTO GLOBE y HUBE, obtuvo la catalogación de proyecto I+D+i por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), que en una fase todavía incipiente de desarrollo ya demostraba el potencial que esta herramienta podía tener dentro del sector.

El momento por fin llegó. Año 2019. En ese año finalizó el primer proyecto diseñado íntegramente sobre un proyecto digitalizado, con extracción automática desde éste de toda la información necesaria para todas las fases del proyecto gracias al uso de la metodología BIM combinada con el uso de HUBE. Toda la información del Proyecto Básico y Proyecto de Ejecución surgió de este proyecto digitalizado. Y además, toda la gestión en producción de obra se realizó obteniendo e introduciendo datos desde el mismo mediante el uso de HUBE. Éste fue el primero, después el 100% de proyectos desarrollados tras él se han gestionado en su totalidad en base a proyectos digitalizados sobre los que se ha seguido evolucionando, tanto en optimización de procesos, como en la propia herramienta tecnológica HUBE.

3. Pilares metodología. Presente y futuro.

La metodología de Grupo Lobe se basa en 5 pilares, Diseño, Sostenibilidad y Eficiencia energética, Digitalización, Industrialización y Procesos productivos, transversales a todas las áreas de la organización. En todos ellos la digitalización está implícita y cuenta con un peso específico fundamental haciendo que sean posibles.

Una de nuestras mayores señas de identidad es la creación de todos nuestros proyectos con un alto nivel de eficiencia energética, lo que nos ha convertido en la mayor organización a nivel nacional en diseño y ejecución de viviendas certificadas Passivhaus, recalcando el hito de que más de un 50% de este total de viviendas se corresponde a viviendas sometidas a algún régimen de protección pública.

Realizar proyectos de estas características en serie en la totalidad de proyectos que realizamos es un reto mayúsculo, que la digitalización, junto con la optimización de procesos y soluciones constructivas, nos ha permitido conseguir.

4. HUBE, herramienta tecnológica propia para la obtención y gestión de información de proyectos digitalizados.

HUBE crea y gestiona toda la información de un proyecto en todas sus etapas, desde el desarrollo del proyecto al proceso de ejecución en obra.

El modelado del proyecto se realiza mediante la utilización de familias BIM propias que contienen información paramétrica y codificación necesaria que permiten la vinculación de cada objeto del modelo con la base de datos BD Manager. Este código está introducido en parámetro Nota Clave nativo. De igual modo,

a cada objeto se le introduce un valor de Zona de Control, que identifica mediante sistema de posicionamiento cada objeto del modelo para definir su ubicación.



Fig. 2 Esquema asociación modelo BIM – BD Manager y procesos realizados por Hube (2023)

4.1. Base de datos BD Manager

La base de datos es el núcleo donde se extrae la mayor parte de información. Toda la información materializada en Hube proviene de la conexión del modelo con la base de datos BD Manager. La cantidad de cada objeto proviene del objeto BIM, pero incluso la definición del parámetro de lectura necesario para la obtención de esta cantidad está configurada en base de datos.

La estructuración de la información en la base de datos es clave a la hora de hacer posible que Hube cumpla su cometido en todo el proceso. Saber qué información necesaria queremos para poder hacer posible la obtención de datos y la gestión de información y el modelo vinculado es primordial a la hora de definir esta estructura de datos.

A los conceptos conocidos en cualquier estructura de coste de un proyecto como pueden ser capítulos, subcapítulos, partidas, recursos descompuestos o mediciones se le unen nuevos conceptos propios que posibilitan toda la gestión de información desde el diseño a la producción en obra. Surgen nuevos conceptos como Zonas de Control, Perfiles de empresa, Actividades, Rendimientos de producción, Horas, Líneas de producción, Trenes y vagones de actividades secuenciadas, Equipos, Flujo trabajadores, Tiempos, Nuevas estructuras de datos vinculadas con procesos productivos asociados a su vez con estructuras de costes que permiten el diseño y control de la productividad a tiempo real de todos los procesos.

4.2. Proyecto de Promoción – Proyecto Básico – Documentación comercial y ventas

El primer paso en la definición de un producto es realizar el diseño de producto atractivo para el mercado y analizar su viabilidad.

Durante esta fase de concepción del producto en las que las áreas de Promoción y Comercialización hacen esta definición, ya entra en juego la digitalización en esta fase de anteproyecto mediante la selección desde una biblioteca estandarizada de soluciones constructivas, acabados y sistemas de instalaciones y la obtención de su información en Hube.

Tras el estudio urbanístico del emplazamiento donde se ubica el proyecto, se decide la tipología de vivienda que mejor se adapta al mismo mediante la selección del catálogo propio de producto de vivienda estandarizado con su definición de espacios y cuartos húmedos de igual modo estandarizados. Del mismo modo se dispone de biblioteca estandarizada de núcleos de comunicación verticales y zonas comunes. El uso de estas tipologías de forma sistemática nos ayuda a tener soluciones estandarizadas para todos los trazados y pasos de instalaciones.

Como es lógico, las parcelas a desarrollar no son siempre regulares de dimensiones exactas que necesitaríamos para la resolución de un proyecto idílico. Para solucionar cualquier anomalía, esquinas, medianeras, etc, nuestros arquitectos desarrollan tipologías de encaje del proyecto que, a pesar de no ser

tipo, se nutren de las mismas bibliotecas de elementos, y de esta manera cumplen con los estándares definidos.

En esta fase de análisis de oportunidades de negocio y diseño de producto, se han de crear procedimientos que den un nivel de información muy alto en unos reducidos plazos de tiempo. Para ello, mediante un modelo digitalizado BIM con una densidad de modelado inferior a la realizada en fase posterior en el desarrollo del Proyecto de Ejecución, y con la conexión de este modelo con una parte de la base de datos BD Manager específica, se obtiene una estructura de información, costes y procesos productivos en un plazo de tiempo muy reducido (menos de una semana) que permiten tener datos totalmente fiables en los que basarnos para la toma de decisiones. Se genera una cantidad de información no habitual en el sector en esta fase de anteproyecto y de una forma totalmente automática.

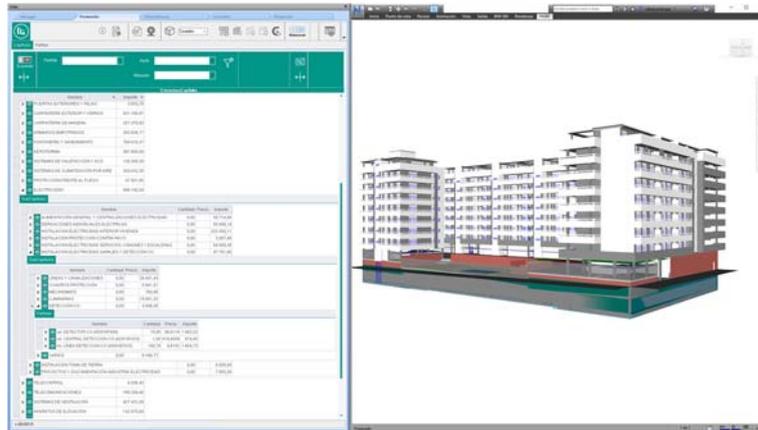


Fig. 3 Modelo Proyecto de Promoción y visualización de datos asociados en Hube. Proyecto Grupo Lobe (2023)

Mediante la exportación del modelo BIM generado en formato *.rvt, a formato *.nwc se realiza el procedimiento de integración en Hube. Una vez abierto este archivo desde Hube, se realiza una sincronización que materializa todos los datos de forma automática en todas las ventanas de información y estructura de datos existentes. En este proceso de sincronización se realiza la vinculación de los objetos del modelo con la base de datos BD Manager.

Hube permite tener comparativas de diferentes alternativas de producto y soluciones constructivas asociadas que definen el alcance real y viabilidad de cada una de ellas.

La vinculación modelo BIM – grid de datos es total. Cualquier dato es seleccionable y se representa en el modelo y viceversa, se puede seleccionar cualquier objeto en el modelo y el grid de datos muestra su información asociada.

El alcance del Proyecto de Promoción no queda ahí. Éste es empleado también para generar la documentación del Proyecto Básico así como genera documentación comercial (planos de venta, imágenes renders,)

Una vez aprobada la tipología y viabilidad del producto, el Proyecto de Promoción es la referencia sobre la que se desarrolla en fase posterior el Proyecto de Ejecución. Define su objetivo y alcance.

4.3. Proyecto de Ejecución – Diseño de la cadena de producción – Planificación

El área de Proyectos - Oficina Técnica es el encargado de realizar el Proyecto de Ejecución en base al Proyecto de Promoción definido en etapa anterior. Este Proyecto de Ejecución tiene varios objetivos de cumplimiento que se realizan en un único proceso de desarrollo. Por un lado, el trámite administrativo para la obtención de los correspondientes permisos y calificaciones en el caso de viviendas protegidas. Por otro lado, el modelo tiene que definirse y obtener la información necesaria para generar su definición real detallada y ser gestionable por los equipos de planificación y producción.

Este proceso de desarrollo tiene una duración mayor en tiempo, ya que en esta fase se realiza un modelado BIM a muy alto nivel de detalle como evolución del modelo de promoción y básico. La integración de los modelos de topografía, estructura, logística, medios auxiliares y seguridad, envolvente, arquitectura y equipamiento, instalaciones y urbanización, que definen la totalidad de elementos intervinientes en el Proyecto de Ejecución se realizan de forma íntegra en estos modelos BIM.

Disponemos de bibliotecas de familias por cada una de las disciplinas, codificadas y testeadas para su introducción directa en el proyecto. Estas familias cumplen con los requisitos que exige nuestra metodología de trabajo. Además, facilitan y reducen el trabajo de modelado del equipo al albergar diferentes elementos en su composición (familias anidadas), que comparten zonificación. A su vez, este modelo dispone de toda la información asociada a la personalización de materiales, equipamientos y acabados de cada vivienda seleccionados por los clientes, vinculados al programa de personalización comercial de cada promoción.

El detallado de los modelos se realiza teniendo en cuenta varios criterios básicos para trasladar la información a Hube, codificación, zonificación, modulación y unidad de ejecución. De esta manera se proyecta de la misma forma a como se va a construir.

Desarrollamos paralelamente plugins propios para ayudarnos en el desarrollo de las tareas más repetitivas y en el control de los diferentes datos del proyecto. Se busca automatizar el trabajo no creativo para dedicar más tiempo a labores realmente productivas.

La modulación es una parte indispensable a la hora de detallar este modelo. Toda la modulación estandarizada se define desde el proyecto, de tal manera que prime la repetición de módulos o piezas y la reducción de merma por desperdicio de material con el fin de conseguir una mayor productividad de fabricantes y montadores. Esta estandarización no afecta al diseño del producto, sino que lo mejora.

El desarrollo de los distintos proyectos ha hecho que nos demos cuenta de la posibilidad real de pasar de una "industrialización del modelo" en base a elementos premodelados que vamos montando a modo de juego de bloques, a una industrialización real en la que prefabricamos elementos de la construcción para su fabricación Off-site y posterior montaje en obra, consiguiendo minimizar los errores derivados de la construcción tradicional y aumentando la productividad de gremios que habitualmente no lo son.

El Proyecto de Ejecución, a su vez genera de forma automática una estructura presupuestaria de costes con toda la información necesaria estructurada de tal forma que permite la obtención del coste del proyecto para ser comparado con el objetivo de coste y soluciones constructivas definidas en el Proyecto de Promoción.

Una funcionalidad incorporada en el programa permite distinguir si las diferencias existentes entre el Proyecto de Promoción y el Proyecto de Ejecución se refieren a diferencia de elementos empleados en uno u otro o si la diferencia viene definida por variación de precios unitarios existentes entre los precios de los recursos existentes en el Proyecto de Promoción y los precios unitarios actuales que se están materializando en la realización del Proyecto de Ejecución.

El sistema es completamente bidireccional en cualquier estructura y ventana de visualización de datos, seleccionando en cualquier nivel del grid de datos dicha información se representa gráficamente en el modelo BIM y viceversa, seleccionando cualquier elemento en el modelo, se representa su información asociada en el grid de datos.

En el modelo se representan los objetos acordes a los datos seleccionados, dejando con un nivel de transparencia el resto de los objetos del modelo. Una serie de comandos asociados permiten operar con los objetos visibles, ocultos, no seleccionados.

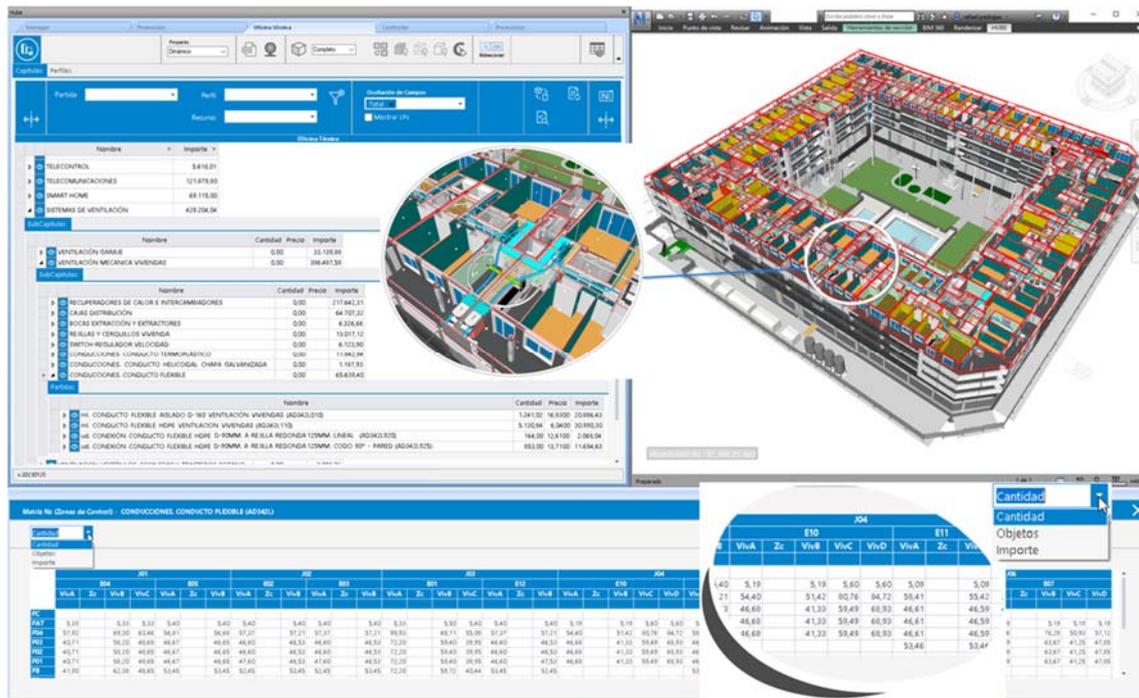


Fig. 4 Modelo Proyecto de Ejecución y visualización de datos asociados en Hube. Proyecto Grupo Lobe (2023)

Toda la información a su vez se subdivide y organiza de forma automática sobre una matriz de Zonas de Control que aparece como ventana de datos emergente en cualquiera de las estructuras de datos existentes. Esta matriz dibuja en una representación matricial el esquema del edificio, el reparto de información del dato u objetos seleccionados en cada una de las zonas de control en las que se subdivide el proyecto. De tal modo que si seleccionamos por ejemplo una partida de la estructura de presupuesto, se dibuja automáticamente la cantidad de medición, importe, número de objetos, horas,... que existe de ésta en cada zona de control (planta, junta, escalera, vivienda,...).

La selección de datos – modelo BIM también es posible directamente desde cualquier campo de la matriz de Zonas de Control. El campo Zona de Control es una materialización concatenada de cada uno de los valores N1 a N6 que se introducen en cada objeto del modelo.

Una serie de filtros permiten mostrar la información deseada en cualquier ventana de la estructura de datos y posteriormente visualizar estos en el modelo.

Además de información gráfica 2D y 3D y estructuras de costes vinculadas, se genera automáticamente el Proceso Productivo que marca el guion en secuencia de las actividades necesarias para realizar el proceso de ejecución posterior, dotando la secuencia y escala temporal mediante la realización de una planificación de esta estructura productiva con los diferentes equipos previstos para cada uno de los perfiles profesionales que se han materializado mediante la sincronización modelo – BD Manager.

Esta estructura productiva, definida por una secuencia de Líneas de producción (LPs), trenes y vagones de actividades, se muestra asociada tanto a la estructura de coste tradicional por capítulos como en una ventana propia en la que dicha estructura se ordena automáticamente realizando la secuencia de las diferentes actividades que se planifican en el diseño de la cadena de producción. Cada uno de los datos de esta estructura productiva lleva implícita información de las horas previstas para su ejecución. Esta información, asociada a los equipos de operarios definidos para cada una de ellas, define el flujo productivo planificado de forma semanal.

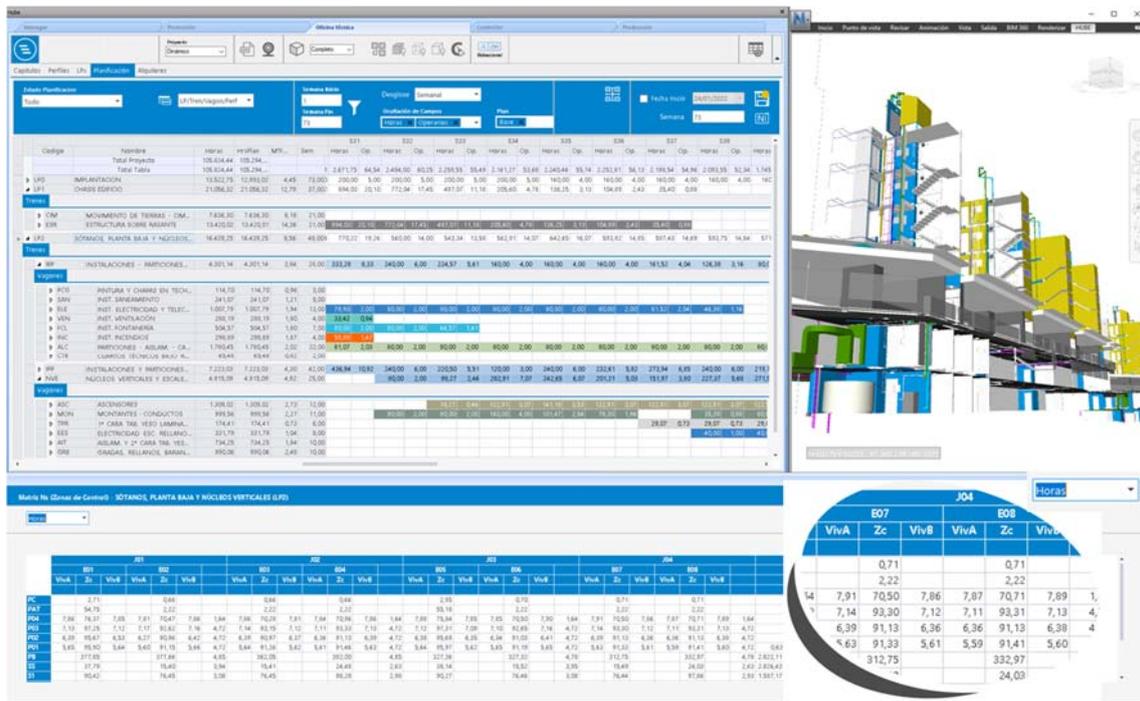


Fig. 5 Modelo Proyecto de Ejecución en fase de diseño de cadena de producción y planificación en Hube. Proyecto Grupo Lobe (2023)

La estructura de datos materializada es personalizable mediante la configuración de la base de datos propia de cada proyecto.

Un proceso de Auditoría con inspectores integrados realiza un control del modelo y datos asociados de forma que detecta e identifica si algún dato no cumple con los parámetros para pasar a producción. La identificación de objetos con alguna alteración se realiza mediante la obtención de los valores id y guid.

Cuando el modelo y datos están auditados, el proceso pasa a la siguiente fase, que denominamos Proceso de Congelación. En este momento se realiza una materialización en tablas de datos del modelo auditado con el modelo BIM que definen los datos materializados. En este momento el modelo BIM deja de estar conectado al fichero matriz de modelado generando el modelo que se utilizará en gestión y seguimiento de producción.

Hube permite la convivencia e identificación de partes del modelo auditadas y congeladas de partes del modelo en desarrollo no auditadas. La estructura de datos permite visualizar esta información de forma conjunta o separada. Una estructura de datos y modelo auditados y congelados permite a su vez modificaciones posteriores en caso de ser necesario. En estos casos, el procedimiento creado se denomina Congelación Quirúrgica o Parcial.

4.4. Controller – Gestión de compras, ofertas y proveedores

Una vez auditado el modelo y sus datos derivados nos encontramos en disponibilidad de realizar la petición de ofertas y contrataciones de cada uno de los recursos asociados, vinculados todos ellos a objetos del modelo BIM. Esta gestión de ofertas y contrataciones se realiza desde el módulo Controller de Hube. La contratación de recursos se realiza en base a la secuencia marcada en el proceso productivo o por agrupaciones de éstos según el tipo de perfil del proveedor asociado.

Una vez realizada la contratación, los proveedores tienen asignadas de forma intrínseca tanto los recursos cuantitativos y económicos que definen el suministro o elemento a ejecutar, así como cada una de sus actividades que definen qué tienen que realizar, en qué período del proceso productivo y con qué equipo de operarios.

4.5. Producción – Seguimiento de la producción y análisis de datos

El módulo de Producción nos permite gestionar el Proyecto en su totalidad durante la ejecución de obra, de tal modo que disponemos del coste económico exacto, además de la productividad de este, asociados ambos siempre a los elementos reales ejecutados.



Fig. 6 Seguimiento de la ejecución real en obra sobre gemelo digital. Proyectos Grupo Lobe (2023)

Cuando hablamos de productividad nos referimos al análisis de cada Línea de Producción (LPs) que forman el proceso productivo. Éstas indican el orden de ejecución establecido para que todas las partes del Proyecto se ejecuten en su debida fase, evitando tiempos muertos y asegurando continuidad en cada uno de los procesos.

La combinación digitalización – industrialización – procesos productivos hace que se creen nuevas metodologías de procesos de ejecución no posibles con metodologías tradicionales, que alcanzan valores de incremento de productividad superiores incluso al 50%, con un aumento de la calidad asociada, haciendo que la productividad de la organización y de todos los proveedores vinculados en la ejecución de obra aumente de forma exponencial.

El análisis de datos resultantes a tiempo real de la productividad real de cada proceso productivo en ejecución asociado a cada una de las actividades ejecutadas nos permite comprobar la optimización de productividad producida en procesos industrializados, así como visualizar datos de actividades con valores de baja productividad que indican que el proceso productivo a las que están asociadas debe optimizarse buscando nuevas soluciones con mayor índice de productividad. Como dice la máxima, lo que no se puede medir no se puede mejorar. No se trata de tapar nuestros defectos productivos, sino de aflorarlos para poder transformarlos y mejorarlos.

Las actividades se programan semanalmente de tal modo que tenemos el Importe Teórico Programado (según contrato proveedor) y el tiempo en horas Teórico Programado (según rendimientos productivos definidos en base de datos asociados a tiempos de ejecución). Con dicha información tenemos la referencia del número de operarios necesarios para acometer los trabajos de la semana (operarios/horas asignadas).

El Gerente de Producción (Jefe de Obra), realiza la programación semanal en base a las LPs, siguiendo el guion establecido del Proceso Productivo, seleccionando sobre el modelo, previo filtro de Zonas de Control, los objetos vinculados a las actividades a realizar. En obra, el Encargado desde su dispositivo móvil - Tablet, seleccionando a cada uno de los trabajadores previamente validados, introduce las horas consumidas en cada una de las actividades que se ha programado para sus trabajos, tenido la posibilidad de introducir horas en actividades que no se hayan programado y que se hayan realizado. El Encargado también se encarga de introducir a través del Tablet todos los suministros (albaranes) por proveedor recibidos en la semana. Toda esta información gestionada desde la propia obra en dispositivos portátiles se conecta directamente con Hube.

Una vez transcurrida la semana, el Gerente de Producción introduce las actividades ejecutadas, seleccionando los objetos del modelo en las diferentes zonas de control. Se introduce el acopio de los

suministros a final de semana. Con los acopios, albaranes introducidos por el Encargado y la selección de objetos asociados en el modelo, tenemos el dato económico de la semana y productivo, ya que todas las horas introducidas en el Tablet se han volcado directamente a cada zona de control para cada una de las actividades ejecutadas. Con toda esta información se va generando un diagrama Gantt con modos de visualización semanal y mensual, llegando al detalle de cada una de las actividades ejecutadas por cada proveedor. Con la ejecución registrada y los suministros, se generan automáticamente las Facturas Proformas de cada proveedor para su posterior envío, indicando la fecha de proforma/factura que se desee.

En todo momento se mantiene la interacción de Hube con el modelo BIM, visualizando tanto a nivel económico como de proceso productivo, el total del proyecto, lo programado, lo ejecutado, lo pendiente por ejecutar, así como lo ejecutado a origen.

En Reunión de Producción semanal se analizan todos los datos, Importe Programado inicial con horas teóricas estimadas, Importe Ejecutado con horas teóricas ejecutadas, importe Consumido calculado en base a consumos reales de recursos y horas reales consumidas, dotando a la obra de una trazabilidad tal que, toda hora introducida para cada operario al igual que cada recurso se queda consumido en cada zona de control de la obra. Con todos estos datos se analiza el coste €/hora de cada proveedor y de cada actividad, en cualquier nivel de la estructura productiva y en cualquier período, parcial o a origen, identificando semanalmente la productividad desde todos los puntos de vista, lo que permite establecer procesos de mejora en base a los datos reales obtenidos

Esta metodología de trabajo totalmente digitalizada permite realizar las reuniones semanales de seguimiento de producción de una forma completamente distinta a la habitual en el sector, realizando éstas desde un entorno centralizado del total de obras en ejecución independientemente de la delegación o ubicación en la que se esté ejecutando, mediante conexiones en remoto con cada uno de los equipos de producción en las que con el uso de Hube se visualiza toda la información de datos y representación requerida desde el modelo.

Hube Producción, además realiza una previsión de cierre económico a final de obra estimando cada uno de los recursos según su evolución de consumo. Para este cierre económico tenemos la posibilidad de imputar cualquier coste producido por una incidencia no definida ni prevista en proyecto, consumido en fecha de ejecución o con previsión de consumo futura.

La integración de Power BI dentro de Hube permite acceder a diferentes cuadros de mando (dashboards) de visualización de información y gráficas asociadas desde la aplicación de un proyecto concreto o información multiobra, por ejemplo, para poder analizar aspectos como simultaneidad de un proveedor en una misma fase temporal en varias obras, número de operarios asignados por éste a cada una de ellas, o importes o tiempos asociados.

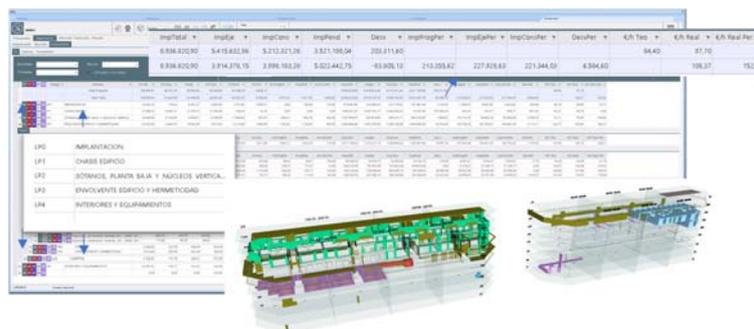


Fig. 7 Modelo Producción y visualización de datos asociados de seguimiento de obra en Hube. Proyecto Grupo Lobe (2023)

4.6. Arquitectura de IT: Hube como servicio (Hube as a Service: HAAS)

La alta demanda de información requiere disponer de servicios capaces de gobernar de manera eficaz la gran cantidad de procesos y datos que éstos generan/calculan. Este reto, ha originado la mentalidad “Hube First”, donde herramientas comerciales, Datos Empresariales y Soluciones Propias componen el ecosistema que nos permite resolver los desafíos que el negocio nos plantea.

Por ello, la apuesta por la digitalización y evolución tecnológica de Grupo Lobe gira en torno a HUBE, en lo que denominamos “HUBE como servicio” (“HUBE as a Service”), considerándolo nuestra plataforma tecnológica que impulsa la Transformación Organizacional, así como el diseño de nuevos procesos de Digitalización basándose en estos Pilares Básicos:

- Estrategia de repositorio de datos eficiente, fundamental para la plataforma, permitiendo el acceso a la información estándar y normalizada, proveniente de los servicios disponibles formando una base crucial para facilitar la toma de decisiones y responder a los cambios del sector (estandarizar los datos originados para su acceso de manera controlada).
- Arquitectura orientada a servicios, enfocada a “descomponer” los procesos en servicios y dejarlos disponibles para su uso. Esta arquitectura nos permite facilitar la integración entre los diferentes procesos y lógicas de negocio de la compañía, evolucionando, a su vez, el producto software en las fases de Definición, Desarrollo, Abstracción, Distribución y Seguridad. Del mismo modo, con el objetivo de prevenir cuellos de botella que colapsen la productividad, éstos operan bajo un algoritmo Round Robin que balancea la petición que solicita el usuario al servicio más descargado.
- Experiencia de Usuario Virtualizada, orientada a coordinar las acciones anteriormente mencionadas, se ha diseñado una interfaz gráfica que cumple los requisitos de negocio permitiendo a los usuarios realizar operaciones de gestión integral del dato de forma sencilla e intuitiva.

Estos pilares se sustentan sobre la plataforma de NUBE privada que se ha desarrollado para soportar todas estas cargas de trabajo y necesidades indicadas. Sobre la idea de esta NUBE Privada podemos ser capaces de ofrecer los servicios de HUBE al sector, beneficiándose de la labor de Investigación y Desarrollo desarrollada por Grupo Lobe que durante los últimos años la cuál creemos será beneficiosa para el sector de la construcción.

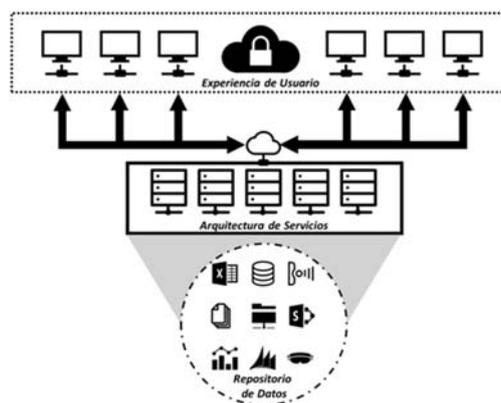


Fig. 8 Pilares básicos de la Plataforma Hube As a Service. Grupo Lobe (2023)

5. Conclusiones

Como se ha expuesto en apartados previos de la comunicación, la digitalización cuenta con un papel fundamental en el cambio metodológico que supone avanzar en el sector AECO hacia modelos de alto nivel de productividad y en la creación de productos diferenciales con altos niveles de calidad. Esto se une además a la necesidad de establecer modelos que ayuden a crear una actividad económica de calidad, ya que, con la ayuda de esta tecnología y la automatización de procesos y analítica de datos e información derivada, posibilita la incorporación de nuevos perfiles profesionales, tanto a nivel de desarrollo de proyecto

como de ejecución de obra, que ayudan a mejorar las condiciones laborales, haciendo más atractivo el sector tanto para la incorporación de estos nuevos perfiles como para el reciclaje tecnológico (adaptado a cada perfil) y productivo de los perfiles profesionales existentes en el sector, motivado por un cambio hacia modelos productivos industrializados.

La obtención de datos de forma automatizada a través de esta herramienta tecnológica Hube a tiempo real en todas las fases del proceso, desde el diseño del proyecto hasta el control de la ejecución en obra, hace sin duda que exista un cambio radical respecto a metodologías tradicionales, por la obtención de un alto nivel de información parametrizada no existente hasta la fecha en el sector. Esta información nos permite tener un control exhaustivo de todos los procesos y detectar cualquier anomalía o proceso con bajo nivel de productividad, tanto de un proyecto en concreto o a nivel macro si un proceso definido en el sistema no está alcanzando los niveles óptimos de productividad en varios proyectos de forma simultánea, independientemente de su ubicación geográfica o equipo asociado, lo que hace que dicho proceso improductivo pueda ser analizado y mejorado, obteniendo mejoras en la productividad de procesos cuantificados en valores reales superiores incluso al 50% respecto a procesos convencionales, con un aumento de la calidad, disminución del coste asociado y mejora de las condiciones laborales indicadas.

Referencias

Data Governance Framework - <<https://datagovernance.com/the-dgi-data-governance-framework/>> [Consulta: Febrero de 2023]

Data Management Body of Knowledge - <<https://www.dama.org/cpages/body-of-knowledge>> [Consulta: Febrero de 2023]

DYNAMO, Autodesk - <<https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/>>

NAVISWORKS, Autodesk - <<https://www.autodesk.es/products/navisworks/>>

NEWMAN, Sam (2021). *Building Microservices. Designing Fine-Grained Systems*. Editorial; O'Reilly

POWER BI, Microsoft - <<https://powerbi.microsoft.com/>>

Refactoring guru - <<https://refactoring.guru/>> [Consulta: febrero de 2023]

REVIT, Autodesk - <<https://www.autodesk.es/products/revit/>>

REVIT API Docs, Autodesk - <<https://www.revitapidocs.com/>>.NET - <<https://dotnet.microsoft.com/es-es/>>

EVOLUCIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL. PROYECTO DE ADAPTACIÓN DEL ESPIGÓN DEL TURIA EN EL PUERTO DE VALENCIA

León-García, José Ignacio^a; Ureña Bolaños, Rosa^b

^aTPF–GETINSA EUROESTUDIOS (Departamento de Infraestructuras del transporte, BIM Manager, España) e-mail: joseignacio.leon@tpfingenieria.com , ^bTPF–GETINSA EUROESTUDIOS (Departamento de Infraestructuras del transporte, BIM Manager, España) e-mail: rosa.urena@tpfingenieria.com

Abstract

The adaptation of the Turia quay for cruise berthing in the Port of Valencia project has been done in BIM methodology, according to the Port Authority of Valencia guidelines required for construction projects. This work has been an opportunity to continue the with TPF-GETINSA EUROESTUDIOS strategy of developing BIM methodology in civil engineering projects.

The Project consisted in the adaptation of two new berthing facilities in the “Turia” quay, the dredging works of “Unión Naval de Levante” quay and several actions in the rest of the port.

During the works, the BIM team of TPF has developed various workflows, improving their efficiency and taking advantage of BIM benefits against traditional projects methodology. Particularly, coordination of disciplines, model management, quality control and model federation are examples of processes that were improved. In order to exchange, review and make changes in models according to the Client requirements, it was also important the exportation from native files to the IFC format. This document is presented since we consider it could be interesting during the congress in the third category called “Real experiences with BIM”

Keywords: port, Valencia, cruisers, coordination, management, quality, federation, efficiency, exportation, experience.

Resumen

El proyecto de adaptación del Espigón del Turia para el atraque de cruceros del Puerto de Valencia, ha sido realizado mediante metodología BIM, según las directrices que la Autoridad Portuaria de Valencia exige en los últimos años para sus proyectos de construcción. Este trabajo ha servido para continuar con la estrategia de TPF-GETINSA EUROESTUDIOS de desarrollar la metodología BIM en proyectos de ingeniería civil.

El proyecto consistió en la habilitación de dos nuevos atraques en el Espigón del Turia, el dragado de la dársena Unión Naval de Levante y actuaciones de adaptación en otros muelles.

Durante su realización, se han evolucionado varios de los flujos de trabajo habituales, mejorando la eficiencia de los mismos, permitiendo así aprovechar las ventajas de BIM respecto a la metodología clásica de proyectos. En particular, se han realizado avances significativos en la coordinación de disciplinas, gestión de los modelos, control de calidad y federación de los mismos. Importante ha sido también la adecuada exportación de archivos nativos al formato IFC, que posibilitó en todo momento el intercambio de modelos con el cliente para su revisión y diseño.

Considerando este trabajo de interés, se presenta para la tercera categoría de experiencias reales con metodología BIM.

Palabras clave: puerto, Valencia, cruceros, coordinación, gestión, calidad, federación, eficiencia, exportación, experiencia.

Introducción

La metodología BIM se ha convertido en una forma de trabajo habitual, no sólo en proyectos de arquitectura o edificación donde se lleva aplicando desde hace varios años, sino también en el sector de la Ingeniería Civil en el que se vienen realizando proyectos de diversas tipologías en el último lustro, estando cada vez más normalizada su aplicación en este tipo de proyectos.

Esta situación es el resultado de la actualización de todos los agentes implicados en el sector de la Ingeniería Civil. Tanto las administraciones como empresas privadas han ido implantando la metodología BIM en sus organizaciones, siendo varias las causas que han llevado a esta situación, entre las que cabe destacar:

- El cumplimiento de la normativa europea; primero con la aplicación de la Directiva 2014/UE y, posteriormente con la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público por la que se transponía la anterior, sentando las bases para que todos los proyectos de Ingeniería Civil en Administraciones Públicas fuesen desarrollados mediante metodología BIM.
- El desarrollo de guías de uso BIM ha facilitado la realización de los proyectos en esta metodología.
- Las ventajas propias del desarrollo BIM de los proyectos; desde la fase de diseño, pasando por la de construcción hasta la etapa de operación y mantenimiento.

Desde el punto de vista de las empresas desarrolladoras de software de ingeniería, estas han ido creando y actualizando programas informáticos que permiten el modelado y parametrización de elementos, además de la exportación a formatos de intercambio, posibilitando llevar a cabo modelos digitales que pueden considerarse propios de la metodología BIM.

Finalmente, las empresas de ingeniería y sus departamentos de infraestructuras también están sabiendo adaptarse a las nuevas demandas de los clientes, desarrollando equipos multidisciplinares que van adquiriendo experiencia en la realización de proyectos de Ingeniería Civil en metodología BIM.

Todo este contexto ha llevado a que en las últimas ediciones del congreso de EUBIM hayan aumentado de manera significativa las comunicaciones relacionadas con proyectos de Ingeniería Civil, dentro del capítulo de experiencias reales en BIM. Entre las comunicaciones más destacadas de esta temática se encuentran las siguientes:

- “Gestión BIM colaborativa en proyectos de construcción de obra lineal: Variante Sur metropolitana de Bilbao y ferrocarriles de FGV”. Donde se pudo corroborar el interés de diferentes Administraciones Públicas por llevar a cabo proyectos en metodología BIM y la importancia que tiene la colaboración entre todos los agentes participantes en ellos. (Comunicación EUBIM 2019).
- “Primer proyecto en BIM de Ingeniería Civil Portuaria en España. Ampliación Muelle Sur del Puerto de Valencia.”. En este caso además del trabajo colaborativo, se puso de manifiesto la importancia del modelo digital parametrizado como medio para facilitar la toma de decisiones durante la fase de estudio de alternativas, la creación del modelo de Proyecto Constructivo y el desarrollo de las dimensiones 4D y 5D basados en este último. (Comunicación EUBIM 2021)
- “Red de Abastecimiento Silvota. Interoperabilidad de softwares en proyectos de Ingeniería Civil.” En esta comunicación es reseñable la explicación que se aporta sobre la interoperabilidad de distintos softwares a la hora de crear un proyecto de Ingeniería Civil, la implantación de la metodología BIM en la empresa y los diferentes usos BIM desarrollados en el proyecto. (Comunicación EUBIM 2022)

En esta ocasión como novedad de experiencia real en BIM, el equipo de trabajo de TPF Getinsa Euroestudios ha considerado interesante presentar el “Proyecto de Adaptación del Espigón del Turia” situado en el Puerto de Valencia. Mediante dicha comunicación se pretende dar una visión global de la evolución de la aplicación de la metodología BIM en la empresa, comparando esta experiencia reciente con los proyectos pasados, concretamente en los apartados: nivel de desarrollo de los modelos, el incremento

de personal involucrado en proyectos BIM, flujos de trabajo, coordinación de disciplinas y evolución del formato abierto IFC.

1. Contexto de implantación de BIM en Puertos del Estado

Puertos del Estado como coordinador de las 28 Autoridades Portuarias de España, ha orientado su estrategia hacia la implantación de la metodología BIM como eje central en la gestión del ciclo de vida de las infraestructuras, aspecto donde BIM destaca como su mayor potencial en cuanto a beneficios puede aportar en cada una de las fases del ciclo de vida.

En junio de 2019 Puertos del Estado publicó su “Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal”. Con esta publicación, se buscaba que las Autoridades Portuarias dispusieran de una referencia a la hora de lanzar sus proyectos, ejecutar sus obras y finalmente gestionar los activos que se generasen fruto de dicho proceso. En esta guía se indican las principales directrices en cuanto a estrategia y objetivos BIM, requerimientos de los modelos, roles y equipos de trabajo, entornos de colaboración y, en definitiva, todos los aspectos relacionados con la aplicación de la metodología BIM.

En este contexto la Autoridad Portuaria de Valencia (en adelante APV), basándose en esta Guía BIM, ha publicado varias ofertas de licitación para realizar sus proyectos con requerimientos BIM. Entre ellos, el “Proyecto de Ampliación del Muelle Sur” fue pionero ya que se trató del primer proyecto de Ingeniería Civil Portuaria realizado íntegramente en metodología BIM. Después de este hito, la APV dio continuidad al trabajo en esta metodología presentando la oferta de licitación del “Proyecto de Adaptación del Espigón del Turia para el Atraque de Cruceros del Puerto de Valencia”. Ambos trabajos han sido realizados por el equipo multidisciplinar de TPF Getinsa Euroestudios, sirviendo de experiencias en la aplicación de la metodología BIM que, junto con otros proyectos de infraestructuras realizados estos años, permiten realizar un análisis de la evolución de la aplicación de la metodología BIM en la empresa, siendo este punto también de interés para el desarrollo de la presente comunicación, en la que el proyecto de Adaptación del Espigón del Turia servirá como hilo conductor comparativo.

De este modo la APV publicó para la oferta de licitación del Proyecto de Adaptación del Espigón del Turia un anexo con los requerimientos BIM, lo que se considera el EIR (Employer Information Requirements) donde se fijaron las necesidades del sistema BIM para conseguir los objetivos de la infraestructura.

La empresa TPF mediante un estudio técnico detallado dio respuesta tanto a los requisitos técnicos del proyecto como a los requerimientos BIM exigidos por parte la APV, estando estos últimos incluidos en un plan de ejecución BIM previo denominado pre-BEP. Este documento, una vez valorada la oferta técnica en su conjunto y adjudicado el contrato, pasó a constituirse como plan de ejecución BIM (BEP) definitivo tras la reunión de lanzamiento BIM, en la que se acordaron todos los puntos provisionales que quedaron sin cerrar del borrador original. De este modo aspectos como el ajuste de cronograma de la parte BIM, la estructura de los modelos o el entorno común de datos definitivo a emplear, se consensuaron en esta reunión entre Cliente y adjudicatario de los trabajos.

2. Descripción general del proyecto

El objetivo del proyecto es dar respuesta a la necesidad de acondicionar los principales muelles del Espigón del Turia para la operación de grandes buques de cruceros en el Puerto de Valencia. Las actuaciones más significativas que se contemplaron para este trabajo fueron:

- El aumento de la profundidad de los muelles cuyo calado era de 8,90 m, ya que resultaba insuficiente para el atraque de los grandes cruceros que se preveían dentro de la flota objetivo.
- La modificación de las alineaciones del muelle para dar continuidad a la línea de atraque del Muelle Perfecto Palacio.
- Adecuación de los muelles en cuanto a equipamientos: instalación de bolardos de alta capacidad, llegando hasta 250 t de tiro, con sus correspondientes defensas de alta absorción de energía.

- Dragado de dársena Unión Naval de Levante, dársena Turia y nuevos muelles de atraque.
- Construcción y equipamiento de superestructura de muelles, instalaciones, urbanización y viario.
- Garantizar que las secciones tipo de los nuevos muelles son capaces de soportar con la seguridad requerida las nuevas cargas, cumpliendo con la normativa vigente.

En la figura 1 se muestra la zona objeto de la actuación.

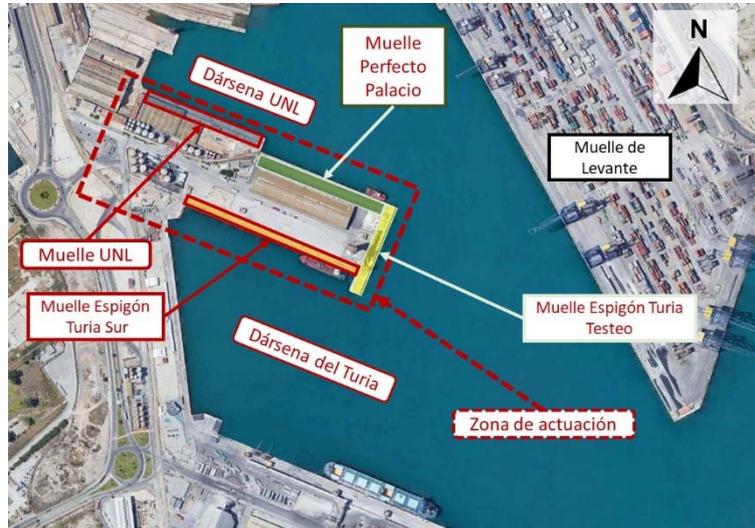


Fig. 1. Zona de actuación proyecto de adaptación del Espigón del Turia en el Puerto de Valencia.

2.1. Fases del proyecto y modelos realizados

Según el avance de los trabajos y la fase de proyecto en la que éste se encontraba, se fueron desarrollando diferentes modelos BIM. En total hubo que gestionar 6 modelos federados diferentes: modelo de estado actual, cuatro modelos de alternativas que fueron objeto de estudio y finalmente el correspondiente a la solución seleccionada para el proyecto de construcción. A continuación, se explican cada una de estas etapas.

2.1.1 Fase I: Trabajos previos

Dentro de esta fase en la que se recabó toda la información y se hicieron los análisis de la situación inicial, se incluyó un modelo de estado actual o condiciones existentes.

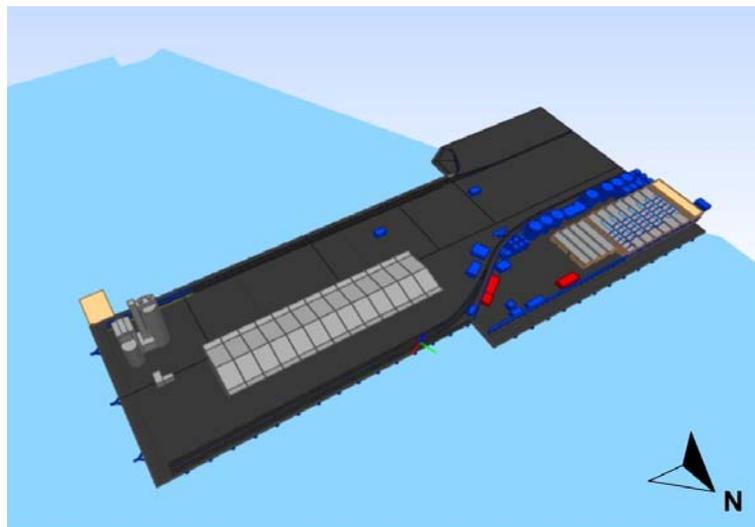


Fig. 2. Modelo de condiciones existentes del Espigón del Turia.

Como se puede observar en la figura 2, inicialmente se disponía de los muelles Unión Naval del Levante y Perfecto Palacio con dos frentes de atraque desalineados. Además, sus condiciones no eran compatibles con el atraque de cruceros, dado que no se cumplían los requisitos geométricos de calado ni de longitud. Ese modelo fue muy útil para establecer las condiciones existentes de este espigón y analizar la compatibilidad geométrica. Otro aspecto clave en esta fase de trabajos previos, fue el análisis de la batimetría de la zona afectada, que siempre supone un reto desde el punto de vista de modelado.

Este modelo inicial estaba formado por las disciplinas de topografía, geotecnia, equipamiento portuario, movimiento de tierras, estructuras de obras marítimas, superestructuras, pavimentación e instalaciones. Para cada disciplina se creó en un submodelo independiente. La federación de estos modelos dio lugar al Modelo de Estado Actual, el cual fue facilitado al Cliente en formato abierto IFC para que pudiera ser revisado por herramientas de uso libre y gratuitas de visualización y análisis de modelos BIM.

2.1.2 Fase II: Estudio de alternativas

Partiendo del modelo anterior, se desarrollaron los modelos de alternativas analizadas en esta fase que buscaban dar respuesta a los requisitos establecidos por el Cliente.

El estudio de alternativas contempló diferentes propuestas para las dos actuaciones principales:

- La modificación de las alineaciones del muelle para dar continuidad al atraque del Muelle Perfecto Palacio, profundizando hasta la cota -12,00m. Dentro de esta actuación se consideraron dos alternativas que fueron analizadas mediante modelos BIM. Por una parte, se estudió la opción de un muro Milán y también se consideró la posibilidad de realizar una pantalla de pilotes secantes.
- El aumento de la profundidad de los tramos de muelles de bloques que tenían un calado de 8,90m. Para este propósito se consideraron dos opciones; la primera fue la realización de una cortina de pilotes y la otra alternativa que se estudió consistió en un tratamiento con inyecciones o “jet grouting”.

Los modelos BIM de esta fase de proyecto resultaron ser la combinación de las 2 alternativas planteadas para cada actuación, obteniendo así 4 modelos BIM; Muro Milán en el norte y cortina de pilotes en el sur, pantalla de pilotes para ambos, Muro Milán en norte del Espigón con jet grouting en el sur y pantalla de pilotes en el norte con profundización con jet grouting al sur del Espigón del Turia. En la figura 3 se observan varias capturas de los modelos que engloban todas las soluciones planteadas.

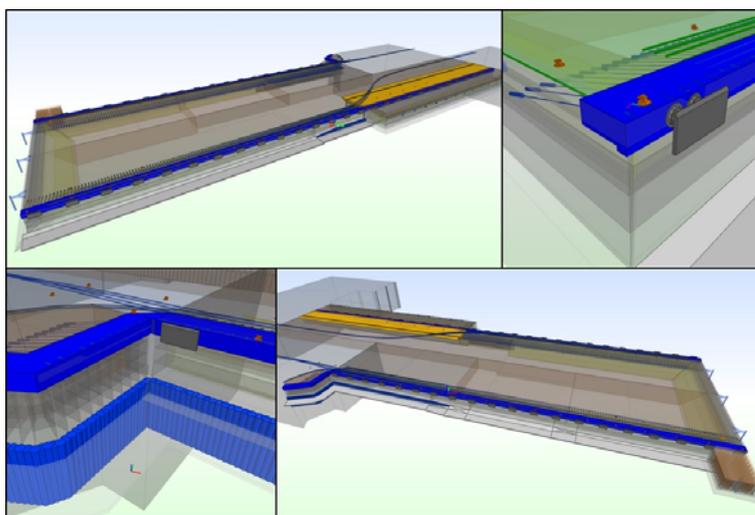


Fig. 3. Ejemplos de alternativas consideradas como solución.

Tras un análisis multicriterio de todas las alternativas, en el que se tuvieron en cuenta factores como la operativa terrestre y marítima (maniobrabilidad), agitación, proceso constructivo, coste de ejecución, plazo, durabilidad e impacto ambiental, se llegó a la conclusión de que la solución que cumplía mejor los requisitos era la combinación de muro Milán al norte y cortina de pilotes al sur.

2.1.3 Fase III: Desarrollo del Proyecto de Construcción

Partiendo del modelo de la alternativa seleccionada en la fase anterior y con un nivel de desarrollo superior, pasando de LOD200 a LOD300, se fueron modelando con detalle todos los elementos pertenecientes al proyecto constructivo. Se añadieron el resto de disciplinas para completar el modelo con el detalle exigido por la APV: equipamientos, demoliciones, instalaciones, etc. En definitiva, se terminó por incluir todo lo que en la fase anterior no fue determinante para el estudio de alternativas.

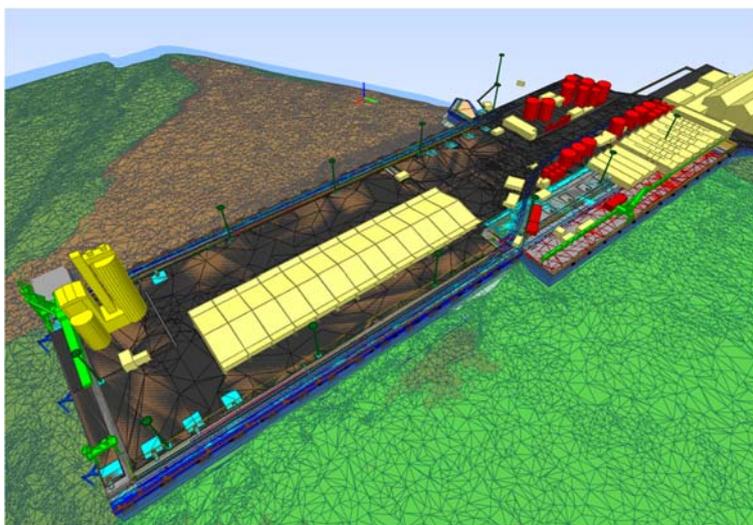


Fig. 4 Modelo IFC del Proyecto Constructivo (vista desde el norte).

3. Características BIM del proyecto

Las características fundamentales del proyecto desde el punto de vista de aplicación de la metodología BIM, se definieron en el documento de plan de ejecución BIM (BEP).

A continuación, se van a explicar los principales apartados relacionados con la aplicación de la metodología BIM. Se indica cómo se ha evolucionado en cada uno de los ellos, desde las primeras experiencias hasta el presente, poniendo como ejemplo de experiencia reciente el Proyecto de Adaptación del Espigón del Turia ubicado en el Puerto de Valencia.

3.1. Nivel de desarrollo de los modelos

3.1.1 Nivel de detalle geométrico: LOD

Habitualmente en modelos BIM se considera como referencia para los niveles de desarrollo de información geométrica la publicación “*Level of Development (LOD) Specifications*”. En ella se establecen los grados de detalle geométricos en una escala a varios niveles, siendo el LOD100 el más básico o conceptual y el LOD500 el más desarrollado que se corresponde con un modelo “as built”.

Para el proyecto de adaptación del Espigón del Turia, se propuso un LOD200 para los modelos de las dos primeras fases y un LOD 300 en el modelo de Proyecto Constructivo.

3.1.2 Niveles de información no gráfica.

Respecto a la información no gráfica de los modelos BIM, inicialmente se estableció un set de propiedades ampliado respecto al empleado en el proyecto de Ampliación del Muelle Sur del Puerto de Valencia, con mayor número de capítulos y propiedades pensando en futuras fases del activo (construcción, operación y mantenimiento). El set de propiedades finalmente adoptado se basó en el indicado en la “Guía BIM de Puertos del Estado”, en su apartado 5.2.2.

Tabla 1. Set de propiedades acordado con la APV para los modelos BIM

SET DE PROPIEDADES APV Muelle Sur			SET DE PROPIEDADES APV ADAPTACIÓN ESPIGÓN TURIA		
01_APV_Identificación			01_APV_Identificación		
02_APV_Cantidades			02_APV_Mediciones		
	Tipo	Valor posible		Tipo	Valor posible
02_01_APV_UNIDAD	ud	Valor	02_01_APV_CAPÍTULO	texto	Valor
02_02_APV_LONGITUD	m	Valor	02_02_APV_SUBCAPÍTULO-1	texto	Valor
02_03_APV_ESPESOR	m	Valor	02_03_APV_SUBCAPÍTULO-2	texto	Valor
02_04_APV_AREA	m2	Valor	02_04_01_APV_MEDICIÓN	número	Valor de la dimensión predominante
02_05_APV_VOLUMEN	m3	Valor	02_05_01_APV_UNIDAD-OBRA	código	Valor
			02_06_01_APV_TIPO-MED	m3	Valor

Como se observa en la tabla 1, la principal modificación para el nuevo proyecto de adaptación del Espigón del Turia, se produjo en el capítulo de cantidades, llamado ahora mediciones, pasando de una lista predeterminada en la que sólo se completaba un valor de la dimensión que aplicaba originalmente, a un conjunto de propiedades que se adaptan a la dimensión o característica predominante del elemento, con la posibilidad de añadir otras dimensiones complementarias del mismo en caso de ser necesaria. De esta manera se consigue una información más precisa y adaptada a las características del elemento a parametrizar.

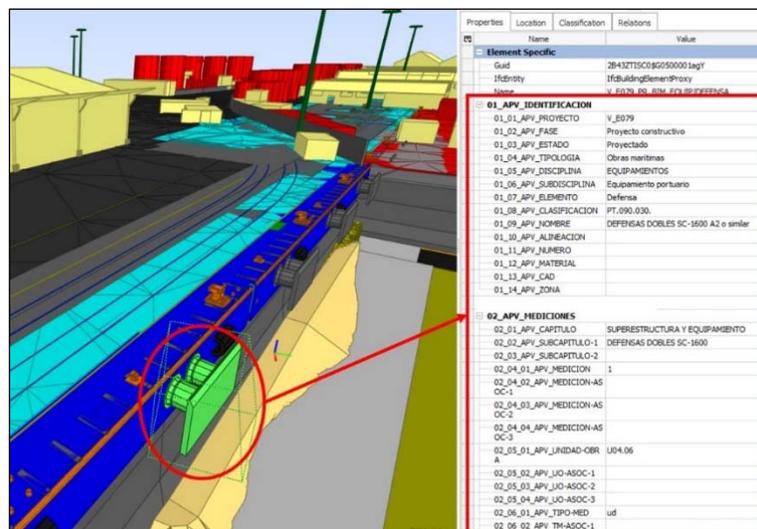


Fig. 5 Nuevo de set de propiedades para defensa de alineación norte en muelle Perfecto Palacio.

3.1.3 Evolución del nivel de desarrollo hacia el LOIN

Con la idea de evitar introducir exceso de información que pueda disminuir la operatividad del modelo, la ISO19650-1 adopta el concepto de LOIN (“Level of information need”) - UNE-EN17412 – Nivel de información necesaria- donde se cambia el paradigma, no centrándose sólo en las características

geométricas del objeto como se hace con el LOD, sino en la información que éste debe contener para satisfacer las necesidades del profesional en un preciso momento. Se consideran así tres grupos de información; la geométrica (expresada mediante forma, tamaño, dimensión y posición), alfanumérica (caracteres, dígitos, símbolos, etc.) y documental, es decir, el conjunto de documentos relativos a una determinada materia. Dada la utilidad de este concepto, es muy probable que en un corto plazo el estándar que se considere para los niveles de desarrollos sea el de LOIN.

3.2 Incremento de personal involucrado en Proyectos BIM

Teniendo en cuenta la evolución en los últimos años del departamento de Infraestructuras del Transporte de TPF, se puede concluir que la configuración de los equipos se ha ido adaptando a las necesidades que han sido detectadas en los diferentes proyectos BIM que se han realizado.

Inicialmente los roles de coordinador y BIM Manager, aparte de sus funciones principales, eran los que asumían gran parte del trabajo de revisión individual de modelos, de preparación de la tabla MEA por disciplinas, de la extracción y revisión de mediciones de los modelos, etc. Con el paso de los años se ha aumentado el número de perfiles con capacitación BIM en los equipos, lo que junto con el desarrollo de proyectos cada vez más complejos desde el punto de vista técnico, ha dado lugar a una ampliación de los roles BIM más allá de las figuras de BIM manager y coordinador BIM. Cada vez los responsables BIM de disciplina van adquiriendo mayor responsabilidad en sus tareas, siendo los encargados de canalizar y orientar todas las labores de gestión y de modelado de su disciplina. Esta figura ha servido para descargar al equipo de gestión BIM, centrado más en otras tareas de coordinación y gestión global propias de sus roles. Igualmente, con el paso del tiempo la figura clásica de delineante ha pasado a llamarse Modelador BIM, con mayores responsabilidades desde el punto de vista de la gestión del modelo, incorporación de datos e interoperabilidad entre distintos softwares.

Para el proyecto de adaptación del Espigón del Turia ubicado en el Puerto de Valencia, se consideró oportuno disponer de BIM manager, coordinador BIM, responsables BIM de disciplina y modeladores BIM. Con esta configuración, los diferentes procesos y la coordinación entre disciplinas funcionaron de forma adecuada y según lo previsto desde el punto de vista de producción.

3.3 Flujos de trabajo

Al ir adquiriendo experiencia se van depurando los flujos de trabajo, mejorando la eficiencia de los mismos y evitando la realización de tareas que no aportan valor añadido a los entregables BIM. En los últimos 5 años, con el aumento de proyectos realizados en metodología BIM y teniendo en cuenta que en algunas ocasiones se han realizado proyectos de la misma tipología y con el mismo cliente, se ha producido una mejora sustancial de dichos procesos.

Tabla 2. Comparativa de etapas tempranas de aplicación BIM vs ejemplo proyecto adaptación Espigón del Turia para la APV.

	Etapas tempranas aplicación BIM	Adaptación Espigón del Turia (2022)
Asignación de propiedades en software de modelado	Asignación manual de propiedades.	Automatización a través de tablas eliminando comprobaciones intermedias y reduciendo el factor humano.
Revisión de modelos	Primeras versiones de check-list. Sin informes automáticos de propiedades.	Check-list actualizados a nuevas versiones. Más completos y adaptados a tipología de proyecto. Informes automáticos sobre propiedades en Excel.
Uso de tabla MEA (Model Element Author).	Uso exclusivo por parte del personal BIM (BIM manager y coordinador BIM).	Realización parcial de coordinador BIM, con participación directa de los responsables de disciplina y modeladores, empleándola para poder ayudar en el proceso de parametrización de elementos.
Cuantificación de elementos en modelos. Mediciones para 5D.	Herramientas en software nativo. Navisworks quantification	Obtención de mediciones a través de informes automáticos de propiedades en Excel, obtenidos desde modelos IFC.

	Etapas tempranas aplicación BIM	Adaptación Espigón del Turia (2022)
Federación de modelos.	Navisworks para federación en nativo. Visores BIM con limitación de federación de 2 modelos IFC.	Navisworks para federación en nativo (incluso con software de diferente procedencia a través de IFC). Enlazando en Civil 3D los nativos de todas las disciplinas y exportando a IFC para poder tener el modelo completo en IFC.

En la tabla 2, se muestra un cuadro comparativo donde se explica la evolución de algunas de las tareas habituales en la aplicación de la metodología BIM. Revisando estas actividades, se percibe una clara tendencia hacia la automatización de procesos, reduciéndose los pasos intermedios que anteriormente se debían realizar para llegar a un mismo resultado. Esto no sólo aumenta su eficiencia, sino que además reduce la posibilidad de que el error humano aparezca.

Como consecuencia de esta evolución en los flujos de trabajo, para el proyecto de adaptación del Espigón del Turia, las horas invertidas proporcionalmente comparadas con proyectos de etapas tempranas fueron menores, obteniendo resultados incluso de mayor calidad. Esta mejora continua ha llevado a desarrollar diferentes flujos de trabajo: general, semanal y de coordinación.

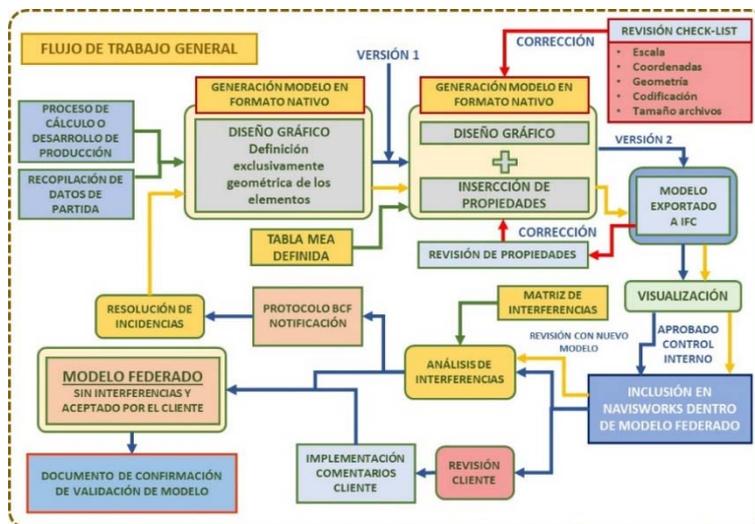


Fig. 6 Flujo de trabajo general desarrollado en proyectos BIM.

Se observa en la figura 6, la evolución de un modelo de disciplina desde su generación en formato nativo hasta su integración en el modelo federado, pasando por los controles de calidad internos y del cliente hasta que se produce su validación.

3.4. Coordinación de disciplinas

Uno de los principales retos que supuso el proyecto de adaptación del Espigón del Turia, fue la coordinación de las disciplinas participantes en el mismo. Hubo en total 8 disciplinas: batimetría, geotecnia, equipamiento portuario, movimiento de tierras, estructuras de obras marítimas, superestructuras, pavimentación e instalaciones. El trabajo conjunto de diseño fue realizado en paralelo con el desarrollo de cada uno de los modelos de disciplina, sirviendo éstos como herramientas en la toma de decisiones. Teniendo en cuenta esta perspectiva, se considera que hay tres puntos fundamentales para una adecuada coordinación en proyectos realizados en metodología BIM: la gestión del modelo federado, el análisis de interferencias y los controles de calidad que incluyen el protocolo BCF.

Los modelos de disciplina generados pasaron un control interno de calidad del propio departamento mediante check-list para después ser puestos en común en el modelo federado, que es el resultado de la superposición de los mismos compartiendo coordenadas y escala.

Con este procedimiento se buscó mejorar la coordinación de las disciplinas involucradas en el proyecto, integrando el uso de los modelos BIM en los procesos de coordinación entre los agentes intervinientes,

permitiendo una pronta y temprana identificación de interferencias y colisiones que pudiesen tener impacto durante el proceso de construcción.

Para garantizar que el diseño del proyecto pasaba a la siguiente etapa de construcción con un diseño optimizado y sin interferencias entre especialidades, el modelo federado pasó por un proceso de detección de colisiones. Para ello, se estableció una matriz de interferencias donde se definieron los elementos de las disciplinas que podían ser susceptibles de generar interferencias. Una vez hecho este análisis teórico, se empleó la herramienta “Clash Detective” dentro del software Navisworks para el modelo federado. Una de las disciplinas que más conflictos suele generar con el resto de departamentos es la de instalaciones. En la figura 7 se muestra un ejemplo de interferencia producida.

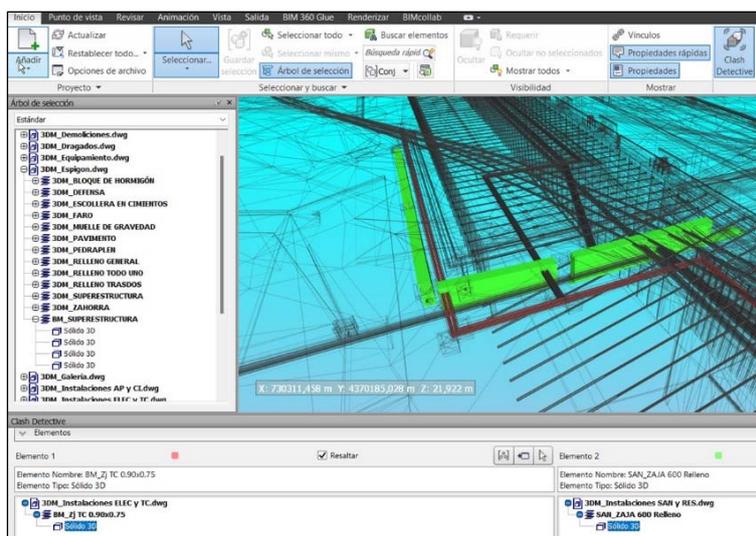


Fig. 7 Estudio de interferencias entre modelos de Instalaciones eléctricas e Instalaciones de saneamiento.

Tras ser detectados los puntos del modelo que podían generar conflictos, se llevó a cabo un seguimiento de los mismos a través de archivos BCF, mediante el plugin de BIMCollab de Navisworks. Se generaron informes de detección de interferencias que fueron resueltas a nivel interno y en reuniones digitales según las necesidades de coordinación y la dificultad de las soluciones.

Respecto a la evolución en la coordinación de disciplinas dentro del departamento de infraestructuras de TPF, cabe destacar que el procedimiento mencionado se ha ido mejorando con el paso de las experiencias, involucrando cada vez a más personal en tareas específicas de revisión de modelos de información 3D, reduciendo duplicidades en tareas y disminuyendo tiempos de resolución de interferencias entre distintos departamentos.

3.5. Evolución del formato abierto IFC

El formato de intercambio abierto IFC es el predominante, ya que permite la visualización de los archivos en todo tipo de visores gratuitos que facilitan su manejo independientemente del software empleado en el modelado. En los últimos años se han ido desarrollando diferentes versiones, orientándose las más recientes hacia los proyectos de infraestructuras.

En los primeros proyectos realizados en metodología BIM dentro del departamento de infraestructuras, el formato IFC que se presentaba era el 2X3. Tras la aparición de los formatos 4x0 y 4x1, que incluían sistema de referencia y la posibilidad de exportación de datos geométricos de trazado al proyecto, se adoptó esta versión como el formato habitual que se presenta al cliente, quedando el formato IFC 2x3 obsoleto. En el caso de los proyectos de puertos, revisando el proyecto de Ampliación del Muelle Sur del Puerto de Valencia, encontramos que la versión a la que se exportó fue IFC 2x3, mientras que para el proyecto de Adaptación del Espigón del Turia ya se llevaron a cabo exportaciones a IFC 4x1, ya que todavía no era oficial el esperado IFC 4x3 que incluye puertos, ni los softwares tenían implementada su exportación.

Por tanto, otro de los aspectos en los que queda patente la evolución continua de la aplicación de la metodología BIM en proyectos de obra civil, es en el desarrollo de nuevas versiones de IFC orientadas especialmente a obra lineal e infraestructuras del transporte. Esto muestra el continuo cambio al que está sometido el sector y la necesidad de mantenerse actualizado por parte de los equipos BIM.

En cuanto a los procesos de exportación, dependerán del software utilizado para el modelado, la versión de IFC requerida por el cliente y los visores que se vayan a utilizar. En el caso del proyecto de adaptación del Espigón del Turia, la exportación se realizó desde el software Civil 3D, pudiéndose visualizar los IFC con el visor gratuito BIM Vision.

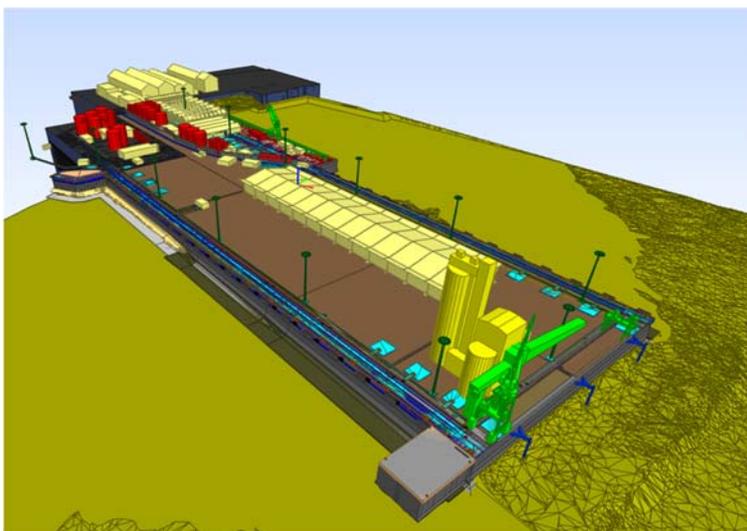


Fig. 8 Modelo en BIM Vision del proyecto de Ampliación del Espigón del Turia (vista desde el Sur).

Actualmente, algunos softwares permiten la exportación en versiones 4x3 de IFC. Sin embargo, no todos los visores IFC son capaces de procesar y representar esta versión de archivos, por lo que hay que esperar a que maduren los desarrollos de estos programas.

4. Conclusiones

En la presente comunicación se ha explicado desde la propia experiencia, cómo ha evolucionado la aplicación de la metodología BIM en proyectos de Ingeniería Civil en los últimos años, comparando cómo se desarrollaban ciertos apartados clave en etapas tempranas desde la implantación de BIM hasta la situación actual. Para ello se ha tomado como referencia el proyecto realizado recientemente de adaptación del Espigón del Turia del Puerto de Valencia. Las principales conclusiones que se extraen son las siguientes:

1. La demanda en la aplicación de la metodología BIM dentro del sector de Ingeniería Civil se ha normalizado, siendo cada vez más común aplicar esta forma de trabajo a proyectos todo tipo de infraestructuras como pueden ser puertos, redes de abastecimiento hidráulicas, obras lineales como metro, carreteras o líneas de ferrocarril, etc. Se prevé que la evolución del mercado en un futuro lleve a realizar la mayoría de los proyectos en metodología BIM.
2. Al tratarse de un entorno que implica desarrollos tecnológicos que cada vez se producen más rápido, la propia metodología BIM se encuentra en evolución continua. Esto sucede también desde el punto de vista normativo. Por ello, es necesario que todos los profesionales implicados estén actualizados en cuanto a nuevas aplicaciones, versiones del software y sus funciones, normativas vigentes, procesos de gestión de la información, etc.
3. Cada vez los responsables BIM de disciplina y los modeladores BIM van adquiriendo mayor conocimiento en la metodología y responsabilidad en sus tareas, liberando al coordinador BIM o al BIM Manager de actividades que, aunque asumieron en los primeros proyectos realizados con metodología BIM por su mayor experiencia, no les correspondían.

4. Una de las principales ventajas de la aplicación de la metodología BIM respecto a la metodología clásica, es la búsqueda de la optimización de los procesos de producción del proyecto. Con el paso de los años, al ir alcanzando cierta madurez en metodología BIM, se van atenuando los sobrecostos iniciales que implicaba la realización de este tipo de proyectos, llegando a tener en la actualidad una mayor eficiencia y productividad de los procesos de trabajo.
5. Desde el punto de vista de experiencia en la empresa, el proyecto de adaptación del Espigón del Turia ha servido para depurar los flujos de trabajo existentes en la metodología BIM y poder compararlos con otros proyectos de la misma tipología, permitiendo analizar la evolución en la aplicación de los mismos.
6. La evolución que se ha producido en las versiones del formato IFC confirman la apertura del mundo de metodología BIM al sector de la obra civil, no quedando reservado en exclusiva al sector de la edificación o arquitectura.
7. La concepción de los modelos de información 3D en los diferentes formatos, debe considerarse como una herramienta más para la toma de decisiones durante la realización del proyecto.
8. La existencia de herramientas de visualización gratuita, permite que todos los agentes implicados en el Proyecto puedan realizar de forma sencilla una revisión de los modelos. Con estas herramientas se puede igualmente hacer uso del tratamiento de datos pormenorizado, filtrando por categorías cada uno de los elementos en función de una determinada característica establecida en la clasificación o en el set de propiedades.

Referencias

León-García, José Ignacio et al. (2022). Congreso Internacional EUBIM 2022 “Red de abastecimiento Silvota. Interoperabilidad de softwares en proyectos de Ingeniería Civil.”

Ureña-Bolaños, Rosa et al. (2021). Congreso Internacional EUBIM 2021 “Primer proyecto en BIM de ingeniería civil portuaria en España. Ampliación del Muelle Sur del Puerto de Valencia.”

Pastor Villanueva, JM et al. (2019). Congreso Internacional EUBIM 2019 “BIM en obras civiles. Proyecto para la futura línea 10 de la red FGV en Valencia.”

Guía BIM de Puertos del Estado: <http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/Guia%20BIM%2009.pdf>

“Level of Development (LOD) Specification” BIM Forum: <https://bimforum.org/lof/>

Referencias LOIN: <https://biblus.accasoftware.com/es/lof-y-loin-en-bim/>

Manual BIM para infraestructuras TPF-Getinsa-Euroestudios.

España. Ley 9/2017, de 8 noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE, de 26/02/2014. BOE, 9 de noviembre de 2017, núm. 272

Europa. Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre contratación pública. OJEU, 26 de febrero de 2014, document 32014L0024

Reino Unido. PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. British Standards Institution, 2013.

Portal oficial del Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana (MITMA): Acondicionamiento y ampliación del muelle Sur del Puerto de Valencia <<https://cbim.mitma.es/proyectos/acondicionamiento-y-ampliacion-del-muelle-sur-del-puerto-de-valencia>> [Consulta 22 de febrero de 2021]

FEDERACIÓN, DIVISIÓN Y OBTENCIÓN DE DATOS DE MODELOS IFC CON HERRAMIENTAS DE BAJO COSTE Y ALTA DISPONIBILIDAD.

Carballo-Solla, Rogelio^a; Sánchez-Juncal, Evelio E.^b; Tenorio-Aranguren, Rafael^c y Valderrama-Rodríguez, Jesús^d.

^aArquitecto, BIMrras, rogelio@ediliciaBIM.com; ^bArquitecto, BIMrras, evelio@ediliciaBIM.com; ^cArquitecto, BIMrras, rafa@ediliciaBIM.com; ^dArquitecto, Apogea, jvalderrama@apogeavirtualbuilding.com

Abstract

One of the greatest resistances to the adoption of the IFC format within collaborative BIM workflows is the unavailability of high-tech easy-to-use tools. Beyond the existence of softwares with great capabilities, the need to bring the daily work management to all the actors involved requires tools that allow interaction with IFC models in a way that is accessible to all of them, regardless of their technical capacity.

If high availability is a factor, web platforms emerge as those with the greatest capacity for penetration, due to the variety of devices on which they can be operated, as well as the immediacy with which they can be used.

We have identified as key to the adoption of the format the ease of access to the models and the information they contain, in a user-recognisable environment. The immediate need for visualization of the information is articulated through a standard web browser from any type of device.

Since visualization may be insufficient, we have introduced basic model federation and splitting tools that allow users without a high level of knowledge of the IFC standard to take full advantage of it.

Keywords: IFC, federated model, low cost, open BIM, tools

Resumen

Una de las mayores resistencias para la integración del formato IFC dentro de los flujos BIM colaborativos es la ausencia de herramientas de alta disponibilidad. Más allá de la existencia de herramientas con gran capacidad operativa, la necesidad de llevar la gestión del trabajo diario a todos los actores involucrados requiere de herramientas que permitan la interacción con modelos IFC de forma asequible para todos ellos, sin importar su capacidad técnica.

Frente a la necesidad de alta disponibilidad las plataformas web se configuran como las de mayor capacidad de penetración, por la variedad de dispositivos sobre las que pueden ser operadas, así como por la inmediatez con la que pueden ser utilizadas.

Hemos detectado como clave de la adopción del formato la facilidad de acceso a los modelos, así como a la información que contienen, en un entorno reconocible por el usuario. La necesidad inmediata de visualización de la información se articula a través de un navegador web estándar desde cualquier tipo de dispositivo.

Ya que la visualización puede resultar insuficiente, hemos planteado herramientas básicas de federación y división de modelos que permita a actores sin un elevado conocimiento del estándar IFC sacar partido del mismo con agilidad.

Palabras clave: IFC, modelo federado, bajo coste, open BIM, herramientas

Introducción

Las herramientas de gestión de la información BIM en formato IFC se han orientado tradicionalmente a un mercado de aplicaciones de escritorio en las que el principal objetivo se ha centrado en proveer un entorno de trabajo con la mayor cantidad de opciones posibles dentro de una única aplicación.

La agregación de funcionalidad en torno a una única aplicación ha permitido que los usuarios especializados en la gestión de la información BIM puedan disponer de herramientas capaces de dar servicio a la práctica totalidad de sus necesidades de manejo de modelos IFC desde su escritorio por medio de aplicaciones ancladas a un determinado sistema operativo.

La, todavía incipiente, asunción por parte del sector AECO de la necesidad de gestionar la información generada en entornos BIM en un formato que permita el traslado de datos de una plataforma a otra, ha traído aparejada la llegada de actores tradicionalmente anclados en el uso de herramientas ajenas a las necesidades de interoperabilidad a un escenario en el que el uso del formato IFC se impone como habitual, si bien no mayoritario todavía.

En el escenario descrito, el usuario no habitual de archivos IFC se enfrenta a una doble dificultad para la adopción de dicho formato como herramienta de uso regular:

- Carencia de conocimiento profundo del esquema IFC.
- Necesidad de herramientas especializadas.
- Ausencia de herramientas transaccionales.

No es objeto de este documento analizar las estrategias de profundización en el conocimiento del esquema de intercambio de información IFC, sino describir la conveniencia de la popularización de herramientas de uso casual que permitan rebajar las barreras al uso cotidiano de formatos abiertos dentro del sector AECO a partir de la exposición del caso de uso de la aplicación web IloveIFC.

1. Descripción general de las necesidades

La primera consideración a la hora de plantear alternativas de bajo coste a herramientas consolidadas en el mercado, y dirigidas a un público con una mayor intensidad de uso y de requerimientos, ha sido definir en qué áreas de actuación debería dar respuesta una herramienta de uso esporádico, y a qué aspectos principales debería obedecer.

Se han detectado los siguientes:

- Generación de modelos agregados.
- Generación de modelos parciales.
- Extracción de la información no gráfica asociada al modelo geométrico.
- Disponibilidad multiplataforma y multidispositivo.
- Seguridad de la información.

1.1. Generación de modelos agregados

En un escenario en el que la especialización de las tareas lleva a la aparición de multitud de herramientas que pretenden dar respuesta a necesidades cada vez más concretas, la interoperabilidad se manifiesta como una obligación por la que cualquier herramienta que pretenda ser incluida dentro de un flujo de trabajo BIM debe pasar.

En el contexto descrito, el usuario pasa de trabajar toda su información en un único repositorio o archivo, a contar con una variada oferta de herramientas que generan sus propios recursos, de tal modo que se vuelve cada vez más frecuente contar con lo que se podría denominar un “modelo BIM disperso”.

El “modelo BIM disperso” puede definirse como parte del modelo de información resultante de un conjunto de contenedores de información (AENOR) del activo sobre el que se está trabajando.

1.2. Generación de modelos parciales

En la situación inversa a la descrita para la justificación de la necesidad de contar con una herramienta que permita la agregación de modelos independientes, en los contextos en los que la herramienta de autoría BIM se utiliza para la resolución de una gran parte de las necesidades de generación de información, el usuario especialista se enfrenta a la dificultad de aislar la información que le es pertinente para su propia tarea, con el inconveniente de que prescindir de la información que le es ajena no resulta inmediato.

En entornos donde el acceso al modelo nativo está imposibilitado, un gran número de licitaciones públicas, por ejemplo, o donde no se dispone de las herramientas necesarias para la modificación de dicho modelo, la posibilidad de trabajar con modelos parciales surgidos del modelo original se muestra como una necesidad evidente.

Al margen de la disponibilidad del modelo nativo, la elección, con carácter general, de una MVD concreta no conlleva necesariamente la segregación de la información contenida en un archivo IFC, por lo que la posibilidad de segmentar el modelo IFC resultante en función de las distintas disciplinas que lo componen, su estructura espacial o la categoría de sus elementos, es igualmente atractivo como alternativa a la generación de múltiples modelos.

1.3. Extracción de la información no gráfica asociada al modelo geométrico

A pesar del hecho de que el uso del formato IFC permite, a priori, la gestión de los datos contenidos dentro del mismo por parte de cualquier herramienta capaz de extraerlos, la cantidad de situaciones particulares dentro del sector AECO hace que la incapacidad de utilización directa de dicha información sea común en, por ejemplo, las herramientas de gestión.

Ante la falta de mecanismos directos de interoperabilidad, las hojas de cálculo se muestran como las herramientas universales, capaces de dotar a los usuarios de una posibilidad de transmisión y gestión de datos, a costa de procesos más o menos automatizados.

Sin embargo, a pesar de la viabilidad del acceso inmediato al contenido de un archivo IFC, por su carácter textual no codificado, la relativa complejidad del esquema se muestra como una barrera para una explotación cómoda de la información.

1.4. Herramienta multiplataforma y multidispositivo

La tendencia actual en el uso de plataformas y sistemas a nivel global (STATCOUNTER) demuestra claramente el auge de dispositivos tradicionalmente no considerados como herramientas de uso profesional, por lo que un aspecto adicional, identificado como de relevancia para el diseño de una aplicación de uso esporádico, es el de contar con una alta disponibilidad de la misma.

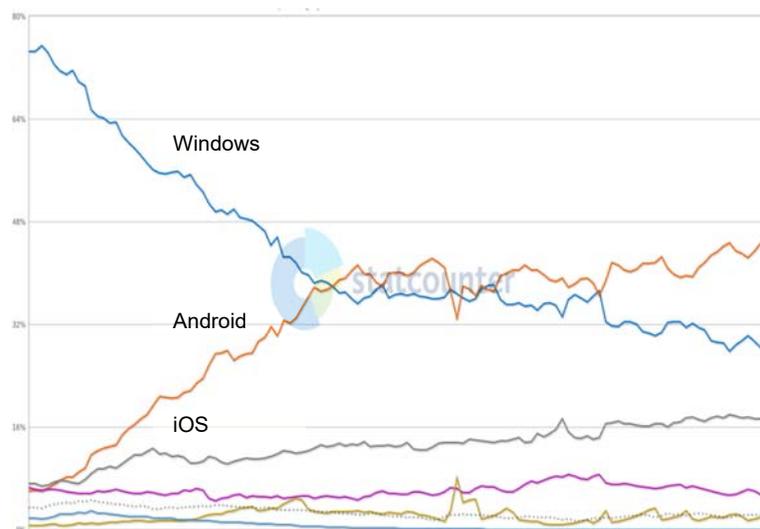


Fig. 1 Operating System Market Share Worldwide - Feb 2023. Fuente: STATCOUNTER (2023)

Una alta disponibilidad no debe traducirse únicamente en la capacidad de la herramienta para ser ejecutada en distintos sistemas operativos, sino que debe ir más allá y materializarse en su disponibilidad en cualquier tipo de dispositivo.

1.5. Seguridad de la información

Sin convertirse en una funcionalidad, desde un punto de vista estricto, se ha detectado una especial sensibilidad en torno a la gestión de los modelos por parte de un tercero, concretamente al destino de la información facilitada a una aplicación online para su tratamiento, especialmente en lo referido al almacenamiento y gestión de la misma una vez procesada para obtener un resultado.

La preocupación por la cesión para su tratamiento de información confidencial supone una barrera evidente para la adopción de cualquier herramienta, más si cabe cuando hablamos de una herramienta online, motivo suficiente por el que la aplicación debería garantizar la gestión segura de los datos e información del usuario.

2. Respuesta a las necesidades

El proceso seguido para dar respuesta a las necesidades planteadas partió de la búsqueda de una arquitectura capaz de satisfacer requerimientos funcionales no relacionados con el objetivo de uso de la herramienta (seguridad de la información, independencia de la plataforma, etc.).

Con carácter previo a la resolución de los algoritmos de procesado de los archivos en formato IFC, se han planteado las cuestiones operativas relacionadas con el desarrollo de una aplicación capaz de correr de forma indistinta en cualquier sistema operativo y, por encima de todo, capaces de proporcionar una experiencia de uso similar independientemente del dispositivo utilizado para su manejo.

Los ciclos de desarrollo de una aplicación con versiones para distintos sistemas operativos son inevitablemente más largos que los ciclos de desarrollo de una aplicación con una única versión. Por otra parte, el desarrollo de una aplicación nativa capaz de ser ejecutada sobre cualquier plataforma y dispositivo, en la actualidad, está limitada al uso de tecnologías aplicadas a la web:

- HTML.
- CSS3.
- JavaScript.

En favor de la elección del uso de tecnologías web ha jugado un papel relevante la disponibilidad de una gran cantidad de herramientas de código abierto sobre las que construir la aplicación. Sin duda, la más relevante de ellas, la librería IFC.js (IFC.JS), una librería de código abierto que permite visualizar y manipular modelos de información en formato IFC en un navegador web sin necesidad de un software especializado adicional.

El hecho de que la librería IFC.js esté escrita en JavaScript (González, 2022) y se base en tecnología WebGL, permite la renderización de modelos 3D complejos en tiempo real en cualquier herramienta que utilice dicha tecnología, desde un navegador web moderno hasta una aplicación de escritorio. La utilización de las librerías IFC.js no implica necesariamente el uso de servicios web, ni el acceso a archivos externos.

La gestión de los archivos, por ejemplo en el caso de lloveIFC, puede realizarse por completo en la máquina del usuario, sin que haya comunicación de datos hacia o desde el exterior, lo que significa que los usuarios puedan ver, interactuar y analizar modelos de construcción en línea sin tener que descargarlos o utilizar software especializado en un ordenador.

Si bien la visualización de los modelos procesados no resulta imprescindible para la manipulación de los mismos, en las operaciones básicas detectadas como necesidades (inspección del modelo procesado con anterioridad a su modificación) se ha valorado de forma muy positiva por la mayor identificación del usuario con herramientas gráficas que le resultan familiares.

El uso de la tecnología descrita da respuesta simultáneamente a las cuestiones de seguridad de la información planteadas por los usuarios, al ejecutarse la totalidad de los procesos de forma local.

La información del usuario no abandona el dispositivo en ningún momento para el procesamiento, por lo que la seguridad de la información está garantizada, en la medida que lo esté la seguridad del dispositivo del usuario, no habiendo posibilidades de intervención en la información manejada por el usuario fuera de su entorno local.

Definida la arquitectura global de la herramienta, se analizaron las posibles aproximaciones de manipulación de los archivos IFC para obtener de manera eficaz los resultados esperados como respuesta a las necesidades planteadas.

2.1. Join IFC

La estructura espacial definida en la especificación del esquema IFC identifica como vértice de una distribución espacial jerárquica la entidad *IfcSite*, de la cual pueden descolgar un número variable de entidades *IfcBuilding* que, heredando propiedades de un único *IfcProject*.

La estructura así definida permite agrupar en torno a un mismo *IfcSite* tantos *IfcBuilding* como resulte necesario para la organización del activo cuya información se incorpora a un archivo IFC, de modo que la situación más frecuente observada es que un archivo IFC contenga únicamente una entidad *IfcBuilding* bajo una única entidad *IfcSite*. Actualmente, excepción hecha de Allplan, las principales herramientas de autoría BIM ni siquiera contemplan la posibilidad de generar distintos *IfcBuilding* en una estructura IFC.

Dado que el esquema IFC admite la posibilidad de simultanear distintos *IfcBuilding* dentro de un mismo *IfcSite*, la estrategia adoptada ha sido la de considerar cada uno de los modelos a unir dentro de un modelo resultado como un *IfcBuilding* que insertar dentro del *IfcSite* que se toma como referencia.

2.2. Split IFC

Las posibles estrategias para la individualización de una colección de elementos dentro de una colección más amplia pueden reducirse a dos actuaciones básicas:

- Generar un nuevo conjunto formado por los elementos seleccionados del conjunto total.
- Eliminar del conjunto total aquellos elementos no seleccionados.

Analizadas las dos estrategias indicadas, a la luz del hecho de que la estructura IFC se cimiente sobre la existencia de una colección de elementos que se relacionan entre sí, ha permitido considerar la situación desde un punto de vista de tolerancia al error.

La mayoría de las herramientas de gestión de archivos en formato IFC contemplan una elevada tolerancia al error que les permite, entre otras cosas, obviar aquella información para la que no se establece relación alguna dentro del documento por más que esta se incorpore. Dicho de otro modo, si la información no está relacionada, no existe.

Frente a la ortodoxia que supondría la creación desde cero de un documento en el que incorporar únicamente los elementos seleccionados inicialmente, la estrategia de mantener los elementos en la colección original, eliminando aquellos elementos que no han sido seleccionados, permite garantizar el mantenimiento de toda la estructura de relaciones que sustenta el esquema IFC.

2.3. Extract data

Como se ha indicado anteriormente, el esquema IFC es un esquema que describe elementos y relaciones entre los mismos. Además de la descripción de la geometría, uno de los elementos que se ponen en relación en un archivo IFC son los datos, los parámetros, la información.

Para la extracción de información de modelos IFC la estrategia utilizada no difiere demasiado, conceptualmente hablando, de la opción descartada, expuesta anteriormente, para la división de modelos.

La estrategia de generar un nuevo documento a partir de la información relacionada con los elementos seleccionados resulta asumible para la generación de un documento derivado porque el excedente de información no llega a procesarse. Sin embargo, este excedente de información debería ser filtrado antes de su volcado a un archivo externo de distinto formato para garantizar que no se considerará.

Una aproximación más eficiente para conocer la información asociada a un determinado elemento seleccionado será, por lo tanto, recorrer cada uno de los elementos seleccionados para identificar, por una parte los atributos que le son propios, y por otro lado identificar todos aquellos conjuntos de atributos, *psets*, con los que mantiene relación.

Una vez identificados los conjuntos de atributos, puede procederse con el proceso de volcado en un archivo del formato deseado.

3. Funcionalidades de la aplicación

3.1. Join IFC

La progresiva generalización y madurez de la metodología BIM ha conducido a una mayor participación de actores de diversas disciplinas en los procesos que afectan a las distintas fases del ciclo de vida del activo en cuestión. Cada uno de estos actores genera su modelo IFC desde sus herramientas de autoría. El producto final de este proceso es un modelo BIM compuesto de diferentes submodelos por usos, disciplinas, etc.

Posteriores manipulaciones del modelo BIM así generado requieren de herramientas capaces de unir uno o varios modelos IFC en un supermodelo federado. Los usos de este proceso pueden ser tan variados como:

- Generar un único IFC como entregable para el cliente.
- Agrupar modelos IFC por usos relacionados para comprobaciones de distinta naturaleza.
- Procesos de control de calidad de los documentos generados.
- Visualización de modelos federados.

La funcionalidad soportada por la aplicación permite unir dos o más archivos IFC en un único archivo, cumpliendo los requerimientos de seguridad en el tratamiento de la información al desarrollar todo el proceso en el dispositivo del usuario.

Del mismo modo, la aplicación soporta la agrupación recurrente de modelos IFC generados anteriormente.

3.2. Split IFC

Partiendo de modelos federados en un único modelo IFC o incluso sobre modelos específicos por uso o disciplina puede ser necesario realizar subdivisiones o segregaciones del modelo dentro de los flujos de trabajo de los participantes en la fase de vida del activo en cuestión.

Se han estudiado algunos casos de uso que pueden requerir desagregación del modelo:

- Extracción de submodelos para procesos específicos sobre una categoría o conjunto específico de elementos del modelo.
- Generación de modelos específicos para control de calidad y comprobaciones.
- Cuantificación y control de modelos parciales.
- Individualización de aspectos parciales del modelo para formar parte de nuevos modelos federados.

Para la generación de modelos parciales se han propuesto dos alternativas: determinación del modelo parcial a partir de la estructura espacial del modelo original o individualización de aquellos elementos de una o varias categorías IFC.

3.2.1. Modelo parcial por estructura espacial

A partir de la selección de elementos según el árbol que recoge la estructura espacial del archivo IFC, por ejemplo, seleccionando un nivel completo siguiendo la secuencia *IfcSite -> IfcBuilding -> IfcBuildingStorey*,

Federación, división y obtención de datos de modelos ifc con herramientas de bajo coste. una necesidad, una respuesta. Carballo-Solla, Rogelio; Sánchez-Juncal, Evelio E.; Tenorio-Aranguren, Rafael; Valderrama-Rodríguez, Jesús

(BUILDINGSMART) se pueden identificar identificar la totalidad de los elementos que están incluidos en dicho nivel para individualizarlos en un nuevo archivo IFC resultante.

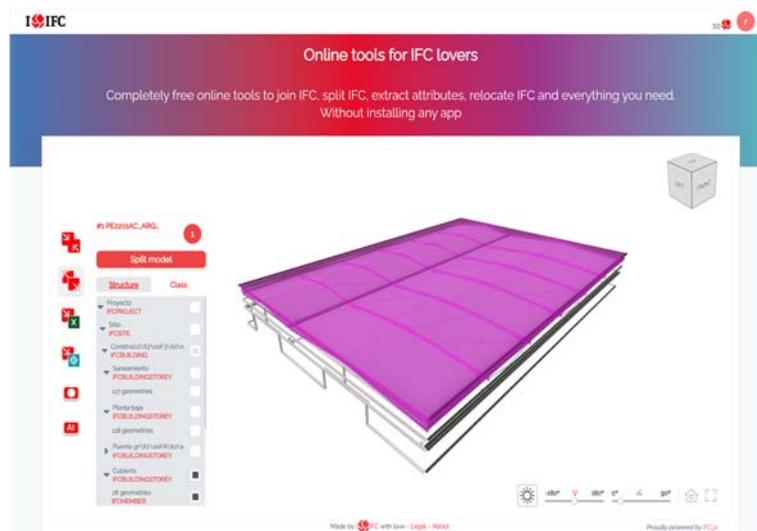


Fig. 2 Selección de elementos en la estructura IFC. Fuente: IloveIFC (2023)

El nivel de atomización puede llevar incluso a la identificación únicamente de los elementos correspondientes a una clase específica dentro de ese mismo nivel individualizado previamente, de modo que se podrían seleccionar para su extracción a un nuevo archivo aquellos *IfcWall*, *IfcBeam*, *IfcSlab*, etc. que interesen en determinado nivel.

3.3. Modelo parcial por categoría

Para el caso en que la colección de elementos a individualizar no se agrupe por criterios espaciales, se ha optado por permitir la selección de elementos a partir de la entidad IFC que los define, de tal modo que la identificación de los *IfcWall*, incluiría la totalidad de los elementos definidos con esta entidad en el archivo. Por ejemplo, extraer un modelo con todos los muros y pilares del proyecto.

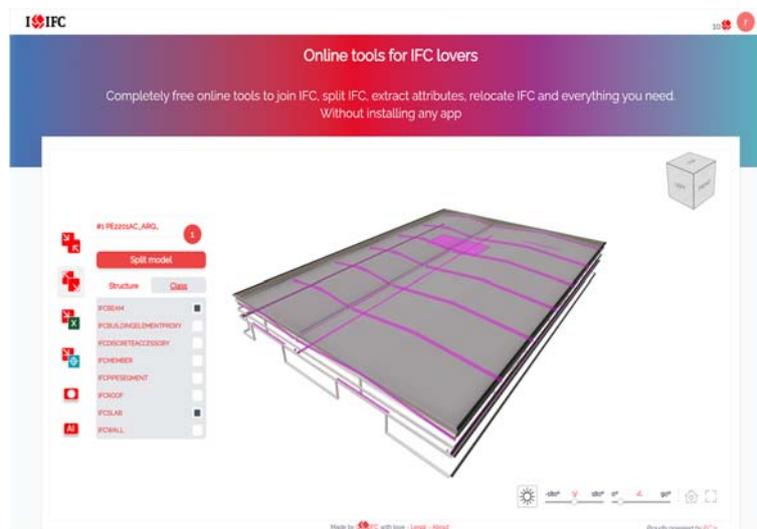


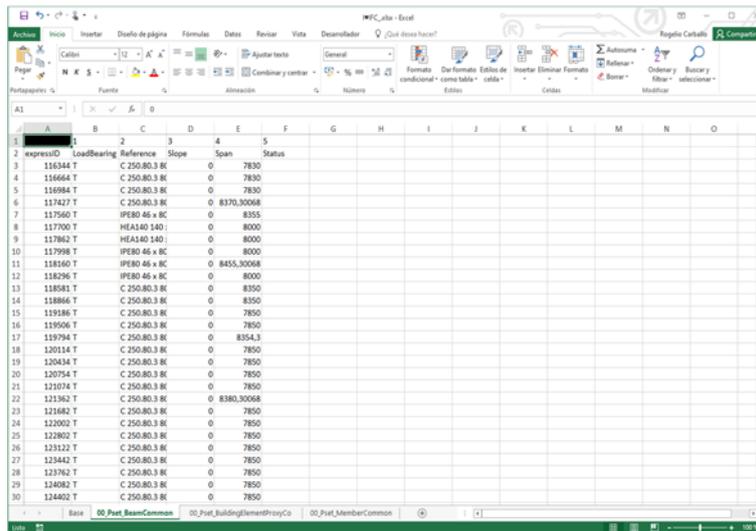
Fig. 3 Selección de elementos por categoría IFC. Fuente: IloveIFC (2023)

3.4. Extract data

La extracción de datos se ha considerado con la misma funcionalidad que la generación de modelos parciales, de tal modo que se ha considerado la posibilidad de individualizar elementos a partir de su selección en el árbol de la estructura espacial de modelo o a partir de la identificación de aquellas entidades IFC para las que se tenga interés en generar un archivo independiente.

Federación, división y obtención de datos de modelos ifc con herramientas de bajo coste. una necesidad, una respuesta. Carballo-Solla, Rogelio; Sánchez-Juncal, Evelio E.; Tenorio-Aranguren, Rafael; Valderrama-Rodríguez, Jesús

Los resultados obtenidos se vuelcan en hojas de cálculo o bien en archivos CSV de datos tabulados, para su posterior procesado y análisis.



expressoID	LoadBearing	Reference	Slope	Span	Status
116344	T	C 250.80.3 BE	0	7830	
116664	T	C 250.80.3 BE	0	7830	
116984	T	C 250.80.3 BE	0	7830	
117427	T	C 250.80.3 BE	0	8370,30068	
117560	T	IPE80 46 x 8C	0	8355	
117700	T	HEA140 140	0	8000	
117862	T	HEA140 140	0	8000	
117998	T	IPE80 46 x 8C	0	8000	
118160	T	IPE80 46 x 8C	0	8455,30068	
118296	T	IPE80 46 x 8C	0	8000	
118581	T	C 250.80.3 BE	0	8350	
118866	T	C 250.80.3 BE	0	8350	
119186	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
119506	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
119794	T	C 250.80.3 BE	0	8354,3	
120114	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
120434	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
120754	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
121074	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
121362	T	C 250.80.3 BE	0	8380,30068	
121682	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
122002	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
122802	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
123122	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
123442	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
123762	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
124082	T	C 250.80.3 BE	0	7850	
124402	T	C 250.80.3 BE	0	7850	

Fig. 4 Datos extraídos para el conjunto Pset_BeamCommon de los elementos IFCBeam del modelo. Fuente: llovelFC (2023)

4. Análisis de resultados y rendimiento

4.1. Resultados

Los resultados obtenidos con llovelFC han sido comprobados con las principales herramientas de visualización de archivos IFC del mercado:

- BIMcollab.
- BIMvision.
- Open IFC viewer.
- xbimXplorer.
- usBIMviewer.
- Bleder.

De igual modo, los archivos IFC generados se han importado en las principales plataformas de autoría BIM del mercado:

- Revit.
- Archicad.
- Allplan.
- Edificius.
- Blender.

En ambos casos, los archivos generados no presentan un comportamiento diferenciado con respecto a los documentos originales para el caso de la segmentación de archivos, no así para el caso de la unión de archivos.

Debido al mecanismo de unión de *IfcBuilding*, la agregación de modelos iterativa corre el riesgo de establecer relaciones circulares entre los elementos IFC que no son procesadas correctamente por las herramientas de visualización utilizadas para su comprobación.

4.2. Rendimiento

La primera iteración de desarrollo de llovelFC se ha planteado como una prueba de concepto que sirviese para validar la tesis de la existencia de una necesidad real de contar con herramientas de bajo coste y alta disponibilidad para la gestión de archivos en formato IFC en entornos casuales.

Desde la perspectiva planteada, la optimización del rendimiento, tanto en términos de tiempos de procesado como en términos de eficiencia de los algoritmos de proceso u optimización de los archivos IFC resultantes, no ha sido una prioridad durante el desarrollo, centrado fundamentalmente en la determinación de una estrategia funcionalmente válida para la confirmación de los objetivos iniciales.

La decisión de apostar por una arquitectura de proceso en el dispositivo del usuario hace depender en gran medida los resultados de uso de la aplicación de la potencia del dispositivo utilizado. Sumado esto al hecho de que la aplicación puede ser ejecutada desde cualquier dispositivo que permita el uso de JavaScript con un acceso a internet, hace que la variedad de experiencias de uso sea difícilmente homogeneizable.

Para añadir una variable más al rendimiento, la uniformidad de los archivos en formato IFC dista mucho de ser una característica destacable, habiendo identificado en el uso de la herramienta archivos con muy diferente nivel de optimización interna. Aclarar al respecto que los archivos identificados son los recibidos por el equipo de soporte, cuestión esta que invalida la muestra al estar excesivamente sesgada por tratarse de archivos que han provocado algún tipo de incidencia.

Por último, como era de esperar, el formato de los archivos IFC dificulta, cuando no impide a todas luces, la gestión de los archivos con procesamiento paralelo. Esto supone una traba mayor en el caso de lenguajes de programación más orientados al procesamiento paralelo, pero no deja de ser un obstáculo que impide el aprovechamiento, por ejemplo, de *web workers* en entornos JavaScript.

El hecho de que el procesamiento paralelo de los archivos IFC no se haya contemplado como una opción, provoca inevitablemente que deban ser procesados de forma secuencial y, por lo tanto, la velocidad de procesamiento sea prácticamente lineal en su relación con el tamaño de los archivos de entrada. A pesar de ello, en los test realizados por el equipo de desarrollo, se han obtenido resultados satisfactorios con archivos de más de 300MB, a costa de tiempos de procesamiento sensiblemente altos.

El hecho de que la gestión de la información de los usuarios se restrinja al entorno del propio usuario impide el análisis de datos de uso de la aplicación más allá del acceso a la misma, de manera que no resulta posible cuantificar datos de los archivos procesados fuera del entorno de pruebas del equipo de desarrollo.

5. Conclusiones

La puesta en marcha de llovelFC confirma la necesidad de contar con herramientas de uso transaccional con las que abordar tareas sencillas de gestión de modelos IFC por parte de usuarios que no tienen como dedicación principal el procesamiento de información BIM en este formato.

El manejo del formato IFC, todavía a día de hoy, genera en una importante parte del sector un cierto nivel de rechazo asociado a la creencia de que su gestión requiere de un conocimiento profundo del esquema o de que para sacarle partido debe hacerse uso de herramientas especializadas, a las que en ocasiones no se ve rentabilidad por lo puntual de su uso.

El escenario descrito confirma la necesidad de contar con herramientas de bajo coste y alta disponibilidad para la gestión de archivos IFC con el objetivo de popularizar el uso del formato como medio de traslado de información BIM entre plataformas y operadores.

5.1. Beneficios y limitaciones

El impacto de llovelFC en términos de usuarios, da cuenta de la demanda de herramientas de bajo coste que permitan operar archivos IFC como la descrita en este documento.

De igual modo, las estadísticas de uso muestran un cierto interés por disponer de herramienta de alta disponibilidad, capaces de ser operadas desde cualquier dispositivo, para resolver necesidades puntuales de gestión de archivos IFC.

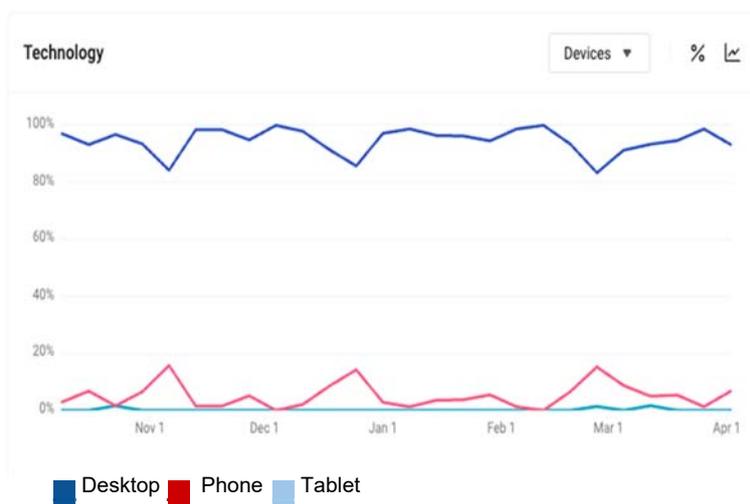


Fig. 5 Datos tecnología de acceso. Fuente: lloveIFC (2023)

A pesar de que el uso mayoritario de la aplicación se realiza desde ordenadores, el uso de dispositivos móviles da muestra del atractivo que la disponibilidad de este tipo de herramientas puede representar para el usuario.

Contar con una herramienta que permite un uso esporádico para la solución de problemas puntuales permite a los usuarios no depender de herramientas más específicas para otro tipo de usos y la disponibilidad de la misma, por ser una aplicación web, derriba por completo las barreras asociadas a la necesidad de contar con equipos específicos para la gestión de los archivos en sistemas operativos tradicionales.

5.1.1. Limitaciones

La evolución del esquema IFC no ha ido acompañada de la evolución de las herramientas que hacen uso del mismo, por lo que la convivencia de distintas versiones de dicho esquema hace que no resulte extraño encontrar la necesidad de fusionar, por ejemplo, archivos IFC 2x3 con archivos IFC 4.0, aspecto este que lloveIFC todavía no ha resuelto.

En aras de la búsqueda de un modelo IFC que conjugue de forma satisfactoria esfuerzo de procesado con adecuación al uso del resultado, se ha optado por postergar las posibilidades de optimización de los modelos a etapas posteriores a la validación de la aplicación por parte del mercado.

En el proceso de unión de modelos, no se ha considerado la posibilidad de unir modelos elaborados con distintas versiones del esquema IFC.

Tal y como se ha comentado en párrafos anteriores, las limitaciones de procesado están asociadas a las características del equipo sobre el que se ejecuta la herramienta. Esta situación es determinante, por ejemplo, cuando la ejecución es sobre dispositivos móviles no diseñados para un uso más cercano al de un equipo de escritorio, lo que redundará en una experiencia de usuario menos satisfactoria.

5.2. Futuros desarrollos

Las acciones futuras previstas en el desarrollo de la herramienta pasan por la optimización de los algoritmos de procesamiento de los archivos IFC, de cara a una mejora de rendimiento y a una mejora en los archivos resultantes y la coexistencia de distintas versiones del esquema IFC, o la selección de la versión del esquema IFC del archivo resultante.

De forma más inmediata, la incorporación de más herramientas, con la misma filosofía de dar respuesta a necesidades sencillas de carácter transaccional, está en marcha y ya pueden utilizarse en distinto grado de avance y funcionalidad herramientas para la georreferenciación de modelos IFC con procedimientos gráficos, situando sobre planimetría o con la introducción de coordenadas precisas los modelos, y la

Federación, división y obtención de datos de modelos ifc con herramientas de bajo coste. una necesidad, una respuesta. Carballo-Solla, Rogelio; Sánchez-Juncal, Evelio E.; Tenorio-Aranguren, Rafael; Valderrama-Rodríguez, Jesús

generación de imágenes conceptuales a partir de modelos IFC, obtenidas por medio de la interacción con modelos de aprendizaje profundo, concretamente con el modelo LDM (Large Diffusion Model) de la empresa indica Stable Diffusion API.

Referencias

AENOR (2019) *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling) Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling) Parte 1: Conceptos y principios*. ISO 19650-1:2018. Madrid. AENOR.

BUILDINGSMART. Industry Foundation Classes 4.0.2.1 Version 4.0 - Addendum 2 - Technical Corrigendum 1 <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/> [Consulta 5 de febrero de 2023]

GONZALEZ VIEGAS, A. (2022) "Librerías IFC.js Para una industria de la construcción y arquitectura colaborativa." en *URBE. Arquitectura, ciudad y territorio*, n.º 14, p.114-120.

IFC.JS. Docs | IFC.js <<https://ifcjs.github.io/info/>> [Consulta 5 de febrero de 2023]

STATCOUNTER. Operating System Market Share Worldwide Feb 2013 - Feb 2023 <<https://gs.statcounter.com/os-market-share#monthly-201302-202302>> [Consulta 5 de febrero de 2023]

CONTROL DE LA OBRA POLIDEPORTIVO LA CEBADA MEDIANTE NUBE DE PUNTOS EN ENTORNO BIM

Romero-Ortega, Esteban^a; Planell-Catalán, Ignacio^b

^aJefe Departamento Topografía en BECSA, eromero@becsa.es; ^bJefe de Obra en BECSA, iplanell@becsa.es

Abstract

The sport center "La Cebada" is a newly constructed building located in La Latina neighborhood in Madrid. It consists of two basements, ground floor plus four floors. It is a completely mixed building: one part with a metal structure, another part with a concrete structure and foundations via a slurry wall.

Once the federated model and the georeferenced point cloud of the environment were received, and before the execution started, a quality control was carried out. This quality control made possible to detect interferences with the subway galleries, the sewage system and adjacent buildings. That allowed us to make the necessary modifications to the model before starting the work.

During the execution of the work, periodic scans were also made in order to perform geometric checks between the BIM model and the point cloud of what was built. Thanks to this, we were able to measure deviations from the model and thus anticipate possible unforeseen events that could arise.

The success of this work has been guaranteed thanks to these constant point cloud based quality controls. It also led to a considerable reduction in cost overruns, agility in certifications of works automatically, and greater safety during execution.

Keywords: quality control, BIM model, point cloud, construction, execution, point cloud work

Resumen

El polideportivo "La Cebada" es un edificio de nueva construcción situado en el centro de Madrid. Consta de dos sótanos, planta baja y cuatro alturas. Es un edificio completamente mixto: una parte con estructura metálica, otra de hormigón y cimentaciones mediante un sistema de muro pantalla.

Una vez recibido el modelo federado y la nube de puntos del entorno georreferenciados, se realizó un control de calidad previo a la ejecución, lo que permitió detectar interferencias con las galerías del metro, red de alcantarillado y con edificaciones colindantes. De esta manera, se pudieron llevar a cabo las modificaciones pertinentes en los modelos antes de dar comienzo a la obra.

Durante la ejecución de la obra, también se hicieron escaneos periódicos para poder realizar comprobaciones geométricas entre el modelo BIM y la nube de puntos de lo construido, pudiendo medir las deformaciones con el modelo en el tiempo y así anticiparnos a posibles imprevistos que podían surgir.

El éxito de esta obra se ha garantizado gracias a estos constantes controles de calidad mediante nube de puntos, lo que, además, ha supuesto una considerable reducción de sobrecostes, agilidad en las certificaciones de forma automática, y una mayor seguridad durante la ejecución.

Palabras clave: control de calidad, modelo BIM, nube de puntos, construcción, ejecución, obra nube de puntos.

1. BIM en la ejecución de Obras

El empleo de metodología BIM en la ejecución de obras requiere la implicación de múltiples agentes para que el entorno de trabajo garantice su correcta puesta en marcha. Desde la parte del proyectista, con la definición de un modelo digital de la obra, la oficina técnica para la revisión y desarrollo de dicho modelo y los integrantes del equipo de obra para extraer información y aplicarla a la ejecución.

Es preciso definir un procedimiento de control según las singularidades de la obra, buscando las fases y elementos que sean de interés, como la detección de singularidades no recogidas en el proyecto original, la comprobación del encaje mediante georreferenciación, control de ejecución de trabajos específicos, medición de deformaciones, seguimiento de avance de obra, etc.

La parte que se va a describir a continuación es la referente al control geométrico en el desarrollo de los trabajos de construcción que se van a poner en marcha para la correcta ejecución de las distintas partes de la obra, mediante herramientas y metodología BIM. En concreto con la utilización de las Nubes de puntos en dichos procesos interactuando con el modelo digital.

2. Nubes de puntos

Las nubes de puntos son un conjunto de vértices, elementos o puntos que contienen la información necesaria para generar un modelo virtual. Estos puntos son generados mediante Láser escáner, capturando la realidad con tasas de medición de hasta 2 millones de puntos por segundo y sistemas de imagen HDR avanzado. El resultado de los escaneos ofrece gran cantidad de información con un alto nivel de detalle y precisión, que, mediante un proceso de georreferenciación, se puede incorporar al modelo digital del que disponemos para la ejecución de la obra, y realizar múltiples análisis que mediante métodos tradicionales serían costosos en tiempo y en muchas ocasiones difíciles de realizar.

Con las nubes de puntos, a parte de la gran cantidad de información que se registra en un tiempo muy reducido (cada escaneo completo no supera los 2 minutos y tiene un radio de alcance de 130 mts), proporciona datos allí donde la topografía clásica llega con dificultad (por ejemplo, zonas inaccesibles).

La utilización de las nubes de puntos en las obras es muy ventajosa, siendo una alternativa a la toma de datos con topografía clásica, reduciendo en tiempo y costes multitud de tareas relacionadas con la captura de información, aportando calidad y precisión en los trabajos de control y medición del proceso constructivo.



Figura 1. Nube de Puntos entorno Plaza de la Cebada. Fuente: Becsa (2021)

3. Obra de construcción del Polideportivo La Cebada en Madrid

La empresa BECSA fue adjudicataria de la construcción del Polideportivo La Cebada, siendo esta una obra singular por su diseño y situación en el barrio de la Latina en el centro de Madrid.

El cliente, el Ayuntamiento de Madrid, en concreto su área de deportes, nos proporcionó el proyecto con un modelo federado en las disciplinas de estructura, arquitectura e instalaciones. Desde un primer momento se definieron los roles de los agentes que iban a intervenir en la construcción para aplicar la metodología BIM en dicho proceso.

Así pues se creó un equipo multidisciplinar compuesto por Jefe de Obra, Jefe de producción, Departamento de Topografía y encargado, apoyados por el Departamento de Proyectos de la empresa para acometer la puesta en marcha de este proyecto que se consideró como Piloto en el empleo de metodología BIM.

El objetivo fue sacar el máximo provecho a la información a partir del modelo BIM en formato nativo elaborado con Autodesk Revit, proporcionado por la Propiedad, y generar un flujo de trabajo colaborativo y transversal, generando unos canales de comunicación de datos e información únicos para optimizar la eficiencia en la ejecución de los trabajos, basándonos en los requerimientos BIM del cliente y en los estándares de BECSA.

La parte que se va a exponer a continuación es la referente al control de ejecución de la obra, más concretamente a la utilización de las Nubes de Puntos generadas en el entorno BIM, para llevar a cabo dicho control.

4. Control de Obra mediante comparación de modelos digitales

En primer lugar, se plantearon los puntos donde llevar a cabo el control, sus frecuencias de muestreo y la relevancia de cada proceso.

- Acta de replanteo inicial y encaje de obra.
- Detección de singularidades no recogidas en el proyecto original.
- Control de ejecución de trabajos.
- Medición de deformaciones constructivas.
- Seguimiento de Avance de Obra.

4.1. Acta de replanteo inicial y encaje de obra

La correcta georreferenciación del modelo con el entorno es de vital importancia en el arranque de una obra. En ocasiones las delimitaciones de los linderos con las parcelas y/o edificios adyacentes pueden ser un problema si el modelo de proyecto no se ajusta a la realidad física. La toma de datos de estas lindes en el caso de edificios es complicada mediante topografía clásica, debido a elementos salientes de difícil acceso o desaplomes de fachadas.

Las Nubes de puntos y su captura masiva de datos recogen esas singularidades de forma rápida y sencilla, obteniendo una cartografía precisa tridimensional del entorno, permitiendo la comprobación y toma de decisiones del encaje inicial evitando problemas constructivos de antemano.

Para ello en nuestro caso, se realizó un levantamiento con Láser escáner del entorno de la obra obteniendo un modelo tridimensional con la nube de puntos mediante el registro de los datos de campo con el software Cyclone REGISTER 360, que permitió encajar el modelo en un entorno real, salvando las interferencias no recogidas en el proyecto original, y rediseñando las zonas colindantes mucho antes de la ejecución.

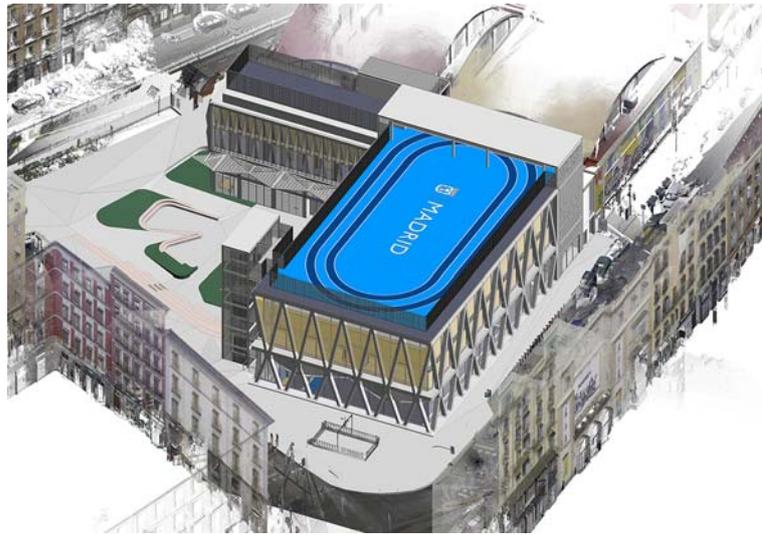


Figura 2. Encaje del modelo BIM georreferenciado en la Nube de Puntos. Fuente: Becsa (2021)

4.2. Detección de singularidades no recogidas en el proyecto original

El ámbito de un proyecto en ocasiones no llega a definir singularidades que por diversos motivos pueden suponer un problema al cual se llega en el momento de la interferencia.

En el caso que nos ocupa se realizaron comprobaciones de posibles elementos de interferencias como galerías de saneamiento subterráneas o la red de metro con el muro pantalla que se debía ejecutar a una profundidad de 16 metros. La toma de datos de esos elementos se realizó con nube de puntos obteniendo la información precisa en un tiempo muy reducido (2 horas aproximadamente) en lugares de difícil acceso.

El resultado permitió tomar decisiones al respecto de forma anticipada y con total seguridad.

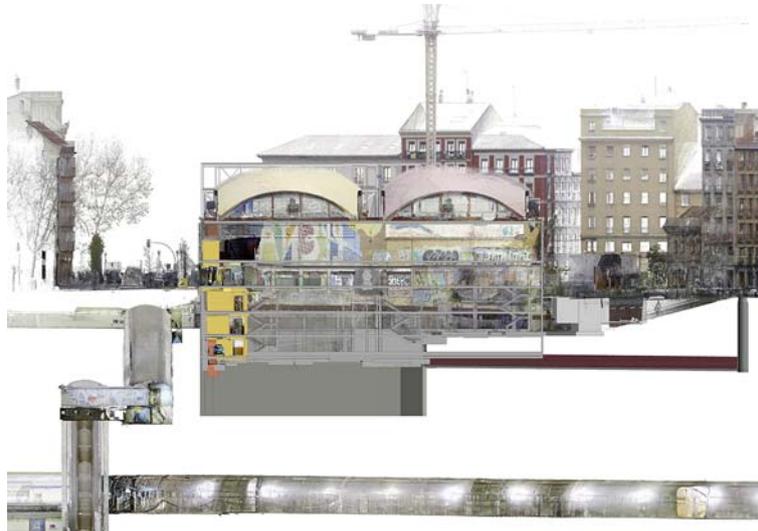


Figura 3. Escaneo Red de Metro para detección de interferencias. Fuente: Becsa (2021)

4.3. Control de ejecución de trabajos

Una de las características principales del edificio era que su estructura era mixta, compuesta por un entramado metálico de cerchas y pilares que apoyan sobre soportes de hormigón. La precisión requerida para la implantación de estos elementos es fundamental para el encaje de todos los elementos. Dada las dimensiones de los elementos metálicos, cualquier error puede ocasionar graves problemas en el montaje, por lo que el control en la ejecución de cada fase de montaje se convierte en una prioridad.

De nuevo se recurrió a un levantamiento con láser escáner para la obtención de un modelo de nubes de puntos, con los que realizar las comprobaciones pertinentes que aseguraran la fiabilidad de los posteriores montajes, mediante superposición georreferenciada del modelo teórico con la captura de datos del escáner.

El software utilizado en dicho proceso fue Cyclone 3DR de Leica Geosystems que fusiona la tecnología JetStream para la gestión centralizada de nubes de puntos a escala completa con el análisis automatizado de nubes de puntos y el modelado en un sencillo software basado en el flujo de trabajo con herramientas adaptadas a los campos de la topografía, la construcción y la inspección.



Figura 4. Superposición de modelo teórico con nube de puntos e imágenes HDR georreferenciadas. Fuente: Becsa (2021)

Puesto que era la primera vez que se realizábamos una comprobación de estas características, se realizaron comprobaciones adicionales con topografía clásica, a fin de verificar la bondad de los datos obtenidos con la nube de puntos.

Con el montaje realizado se comprobó también la posición definitiva de la estructura metálica en sus diferentes fases de montaje.

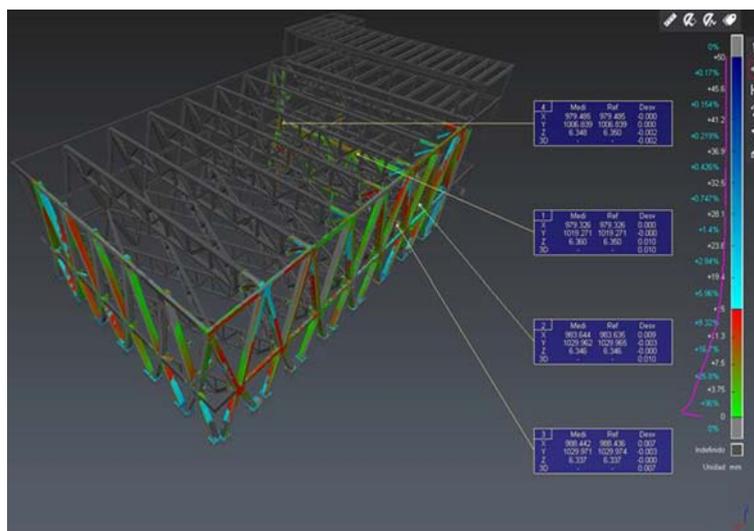


Figura 5. Comprobación cuantitativa de montaje estructura metálica. Fuente: Becsa (2021)

Las comprobaciones realizadas satisficieron las expectativas obteniendo precisiones del orden de los 5 mm, tolerancia suficiente para la ejecución de las comprobaciones.

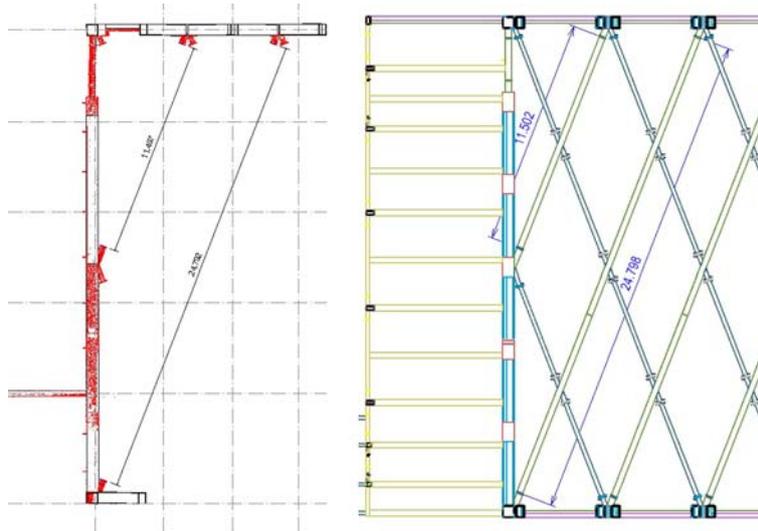


Figura 6. Comprobación Nube de Puntos – Comprobación topografía clásica. Fuente: Becsa (2021)

4.4. Medición de deformaciones constructivas

Otros elementos que fueron objeto de comprobación mediante la comparación de modelos digitales fueron las estructuras de hormigón. En concreto el muro pantalla y los pilares. La desviación geométrica de su posición teórica de estos elementos puede suponer un problema que, detectado a tiempo, pueden ser objeto de estudio para su corrección o búsqueda de soluciones alternativas antes de continuar con la construcción de partes que interfieran con ellos.

El muro pantalla que se ejecutó, alcanzaba 16 mts de profundidad con un ancho de 1.20 mts. Estas importantes dimensiones y la dificultad en su ejecución hacen que cualquier desviación afecte a la ejecución de elementos colindantes. Por lo que era de suma importancia revisar la verticalidad y posición geométrica de sus caras. Al ser una superficie grande con mucha altura, el escaneo de sus caras fue el método elegido para la comprobación, introduciendo sus resultados en softwares específicos de análisis.

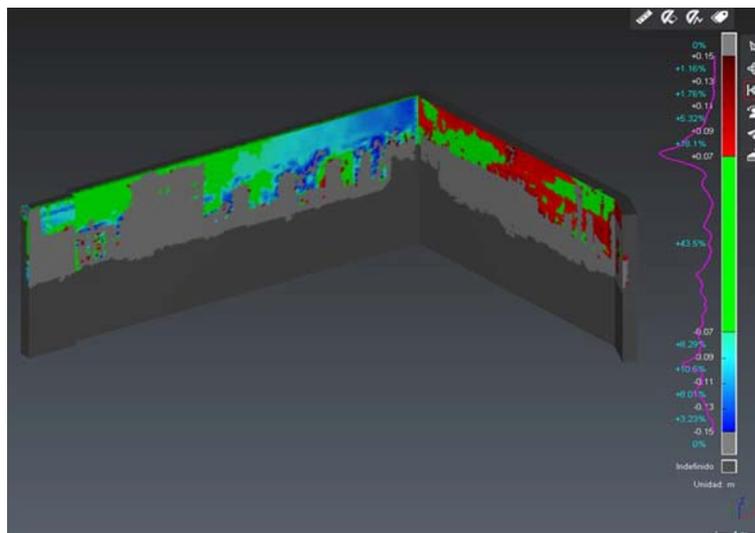


Figura 7. Análisis de resultados de verticalidad en comparativa modelo teórico-Nube de puntos. Fuente: Becsa (2021)

Los pilares en sus diferentes fases de alzado fueron sometidos también a un control geométrico con nubes de puntos para detectar desplomes y posibles errores de ejecución en sus dimensiones.

4.5. Seguimiento de Avance de Obra

La última aplicación utilizada con las nubes de puntos fue el seguimiento del avance de obra para su posterior utilización en mediciones y certificaciones, facilitando en gran medida la identificación de unidades de obra de forma rápida y sencilla.

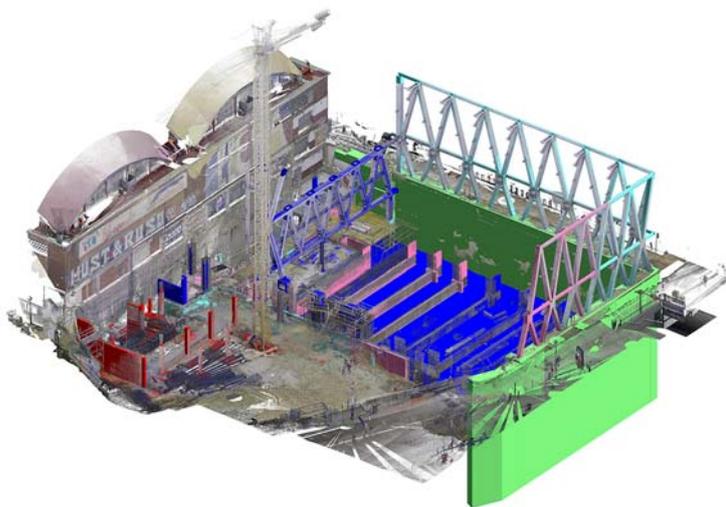


Figura 8. Seguimiento de obra con nubes de puntos. Fuente: Becsa (2021)

Para dotarle esta información a los modelos y asegurar la gestión de los mismos, se incluyeron parámetros de información en Revit que permitieron facilitar la organización de la obra. Se generaron diferentes grupos de parámetros: unos para controlar las mediciones y las certificaciones que quedaban enlazados con el presupuesto, en los que se utilizaron la misma codificación que se empleó en el proyecto; y otros para controlar las tareas de la planificación de la obra, así como códigos, nombres y fechas.

5. Conclusiones

Como conclusión y después de la experiencia de trabajar con nubes de puntos en entornos BIM, podemos asegurar que es una herramienta muy versátil, que nos permite realizar trabajos con fiabilidad y precisión en multitud de ocasiones, llegando a lugares donde la topografía clásica no alcanza, o si lo hace, es de una manera costosa.

La cantidad de información recogida en cada escaneo permite tener una “fotografía” con carácter métrico de la realidad, con la ventaja que eso supone, evitando la reiteración de tomas de datos con estaciones totales, por la limitación que supone la toma de datos discreta y manual.

Se puede decir que las nubes de puntos se van a convertir en la cartografía generalizada para entornos BIM, por sus altas prestaciones en cuanto a información que presta, la agilidad en la toma de datos, el ahorro de costes por la disminución de tiempos de captura de datos y la cantidad de aplicaciones que tiene trabajar con ellas.

Por último, y no menos importante, las precisiones obtenidas en el registro y georreferenciación de las nubes de puntos se adecuan a la tolerancia que se necesita para realizar este tipo de trabajos, antaño siempre ejecutados mediante métodos tradicionales.

Referencias

BIM LEARNING CENTER. *As-built from point clouds: how Maxwell Construction is advancing building documentation*. <<https://bimlearningcenter.com/built-point-clouds-maxwell-construction-advancing-building-documentation>> [Consulta: 7 de febrero de 2023].

TEKLA SOFTWARE “Trimble Hardware and Modeling: Check as-built structure with point cloud in Trimble Connect”. *YouTube* <<https://www.youtube.com/watch?v=Mii9XeIQPYE>> [Consulta: 7 de febrero de 2023].

ERDÉLYI, J; HONTI, R; FUNTÍK, T; MAYER, P.; MADIEV, A. (2022) "Verification of Building Structures Using Point Clouds and Building Information Models" en *Buildings* 2022, 12, 2218. <<https://doi.org/10.3390/buildings12122218>> [Consulta: 8 de febrero de 2023].

MILLER & CO. *Nubes de Puntos bajo Protocolo*. <<https://homeofbim.com/nube-de-puntos/>> [Consulta: 7 de febrero de 2023].

THE CONSTRUCTOR. *What is Point Cloud Technology in Constuction?* <<https://theconstructor.org/building/point-cloud-construction/72128/#:~:text=Point%20cloud%20can%20be%20defined,the%20exact%20dimensions%20and%20specifications.>> [Consulta: 8 de febrero de 2023].

WUNDERLICH, T.; NIEMEIER, W.; WUJANZ, D.; HOLST, C.; NEITZEL, F.; KUHLMANN, H. (2016) "Areal Deformation Analysis from TLS Point Clouds – The Challenge". *ResearchGate* <https://www.researchgate.net/publication/311795322_Areal_Deformation_Analysis_from_TLS_Point_Clouds_-_The_Challenge> [Consulta: 13 de febrero de 2023].



APLICACIONES DEL IFC 4.3 EN INFRAESTRUCTURAS LINEALES, CASOS DE USO

Natale, Roberto^a; Furcolo, Nicola^b; Cianciulli, Michelangelo^c; D'Urso, Alfonso^d

^aArquitecto, consultor técnico BIM, – ACCA software, Italia, roberto.natale@accasoftware.com; ^bIngeniero, consultor técnico BIM – ACCA software, Italia, nicola.furcolo@acca.it; ^cDesarrollador, IFC expert, – ACCA software, Italia, michelangelo.cianciulli@acca.it; ^dBIM Engineer, – ACCA software, Italia, alfonso.durso@acca.it

Abstract

IFC 4.3 is buildingSMART International's new IFC standard for the digitalization of linear infrastructures. This new standard, allows reverse engineering to create infrastructure's digital models on OpenBIM thus facilitating with a new set of characteristics the engineering of horizontal or linear assets.

As part of the new standard validation process, buildingSMART international has taking in to consideration planned moderate technical workshops between infrastructure administrators and software developers in order to verify IFC 4.3's new specification compliance for digital modeling.

This paper present some of the innovations and concepts introduced by IFC 4.3 version and how they have been applied in a set of case studies developed in several European countries between 2021 and 2023.

Keywords: IFC 4.3, OpenBIM, linear infrastructures, Rail, Infra, Innovation

Resumen

IFC 4.3 es el nuevo estándar IFC de buildingSMART International para la digitalización de infraestructuras lineales. Este nuevo formato permite las operaciones de ingeniería inversa para crear modelos digitales de infraestructuras en OpenBIM, y facilita con sus nuevas características las labores de ingeniería sobre los activos horizontales o lineales.

Como parte del proceso de validación del nuevo estándar, buildingSMART International ha previsto mesas técnicas moderadas entre administradores de infraestructuras y desarrolladores software para verificar la aplicabilidad del IFC 4.3 en el diseño de modelos digitales conformes a las nuevas especificaciones IFC.

En este contexto el presente trabajo explora algunas de las principales novedades y conceptos introducidos por la versión IFC 4.3 y cómo han sido aplicado en casos de uso desarrollados en varios países europeos entre 2021 y 2023.

Palabras clave: IFC 4.3, OpenBIM, Infraestructuras lineales, Rail, Infra, Innovación

Introducción

El formato IFC (Industry Foundation Classes) ha constituido una auténtica revolución en el mundo AECO ya que representa un lenguaje común y abierto para todos los operadores involucrados en el diseño, ejecución y operación de un activo. Gracias también a que permite unir información geométrica y de datos, el formato IFC es ampliamente reconocido por todos los agentes del sector como el vehículo preferencial y más eficaz para el intercambio y utilización de información en la metodología OpenBIM.

Entre las características principales del formato IFC están la neutralidad y la apertura. Esto permite la interoperabilidad entre las varias soluciones software y la perdurabilidad de la información en el tiempo.

Actualmente muchos procesos utilizan el formato IFC para los modelos digitales “as-built” sobre todo en fase de operación y mantenimiento. Se configuran así escenarios en donde es posible, tal vez necesario, prescindir del software de autoría que haya generado dicho modelo.

El formato IFC es diseñado por buildingSMART International (bSI) y a lo largo de su desarrollo se han publicado varias versiones definiendo sus características a través del estándar internacional ISO 16739:2013

Como presentado por su Director de Operaciones Richard Kelly, bSI ha publicado el IFC 4.3 como norma de producción tras un intenso proceso de desarrollo. Esto significa que está lista para que los usuarios la utilicen y los proveedores la apliquen, enviándola a ISO para su votación. Con la versión IFC 4.3 se quiere dar un gran impulso a la digitalización de las infraestructuras en formato abierto ya que este formato aplica las ventajas del IFC a los recursos horizontales, es decir todas aquellas infraestructuras lineales tales como las carreteras.

El presente trabajo trata los aspectos principales y la aplicabilidad del nuevo formato en las infraestructuras lineales a través de la presentación de casos de usos llevados por una mesa técnica de buildingSMART International en fase de definición y prueba de la nueva versión IFC 4.3.

1. Antecedentes

El IFC 4.3 es el resultado de un proceso internacional de varios años llevado a cabo a través de dos grandes proyectos de buildingSmart International: el proyecto IFCRail y el proyecto IFCInfra. Los dos proyectos han involucrado empresas gestoras de infraestructuras y desarrolladores software.

Durante este proceso bSI ha dispuesto y moderado mesas técnicas con actores internacionales. En las mesas de los proyectos IFCRail e IFCInfra han participado agentes del sector provenientes de dieciséis países de todo el mundo.

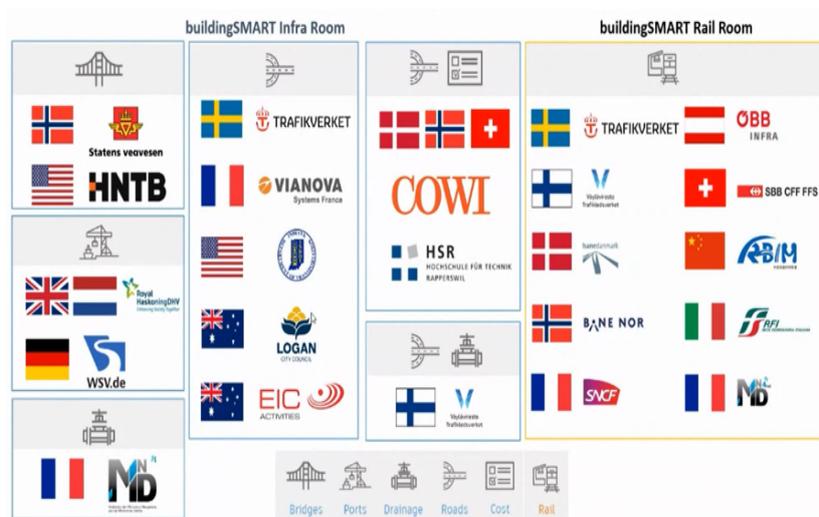


Fig.1 Agentes involucrados en los proyectos buildingSMART Infra y Rail

En relación al proyecto IFCRail, la actividad del grupo de trabajo ha previsto el diálogo entre gestores ferroviarios y productores de software para definir las exigencias de digitalización del mundo ferroviario; a través de la coordinación de bSI se ha asegurado no solamente que dichas exigencias pudiesen ser convertidas en un estándar técnico, sino que el mismo estándar técnico pueda ser implementado por las distintas soluciones software.

De forma similar por método y finalidad, bSI ha llevado en paralelo el proyecto IFCInfra involucrando no solo a los actores de infraestructuras ferroviarias sino también a los actores operantes en otras infraestructuras lineales como puentes, carreteras y túneles. El número de participantes en los dos proyectos es similar ya que la mayoría de participantes en un proyecto han participado también en el otro.

2. IFC 4.3 y colaboración entre expertos de dominio y desarrolladores software

Al igual que en versiones anteriores el IFC 4.3 se propone como estándar técnico para la definición geométrica y alfanumérica de edificios y activos. Especialmente pensado para infraestructuras lineales, en el IFC 4.3 se desarrollaron las nuevas clases, propiedades y relaciones necesarias para poder tratar las exigencias que los agentes involucrados en las mesas técnicas habían expuesto y propuesto como requisitos a solventar en los procesos de digitalización de los activos de infraestructuras.

Las exigencias analizadas han determinado por un lado la reformulación y mejora de conceptos ya existentes en versiones anteriores de IFC y por otro la definición de nuevas características y conceptos.

En esta fase, ha sido determinante también al aporte de los proveedores y desarrolladores de software para poder aplicar, testear y validar dichos requisitos o conceptos tanto teóricos como de forma práctica a la hora de generar y gestionar modelos digitales en formato IFC 4.3.

A continuación, se reportan algunas de estas funcionalidades y características (tanto existentes y revisitadas como nuevas) para entender los conceptos fundamentales del nuevo estándar IFC 4.3 y su aplicabilidad en las infraestructuras lineales.

2.1. Estructura Espacial

Durante la definición del nuevo formato 4.3 el concepto de estructura espacial ha sido profundamente discutido ya que en las versiones IFC anteriores, enfocadas principalmente a las edificaciones (es decir *Building*), la descomposición espacial resultaba bastante clara y elemental: el edificio sería dividido en varias plantas o niveles dentro de los cuales se cuentan uno o más ambientes o zonas que agrupan dichos ambientes.



Fig.2 Ejemplo clásico de estructura espacial de un edificio según IFC 2X3

Para la organización espacial de modelos de edificios no se ha requerido nunca una estructura espacial particularmente compleja y la estructura espacial propuesta por el estándar existente hasta la versión 4.0 cubre suficientemente los distintos casos de uso.

En el mundo de las infraestructuras lineales, en cambio, dicho aspecto es más complejo debido a que no existe una única y manera genérica de descomponer las infraestructuras lineales. La necesidad de descomponer y asociar las entidades del modelo a estructuras espaciales diferentes resulta evidente según el uso final del modelo.

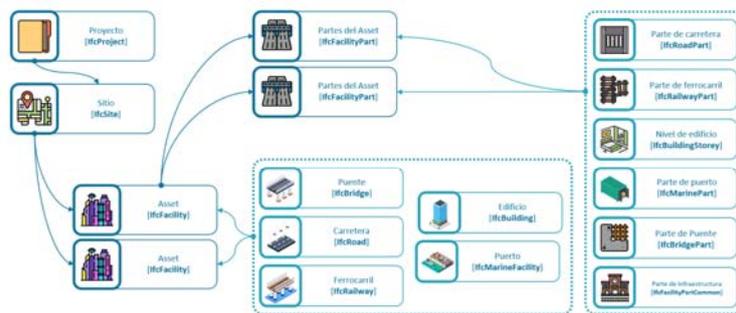


Fig.3 Esquema y relaciones en la estructura espacial según IFC 4.3

A título de ejemplo, un modelo de activo puede ser descompuesto por estructura según:

- “**Región**” en el caso de estar modelado para la gestión de obras puntuales tales como estaciones o equipamientos a lo largo del trazado.
- “**Vertical**” en el caso de definición según las posibles secciones tipo transversales.
- “**Longitudinal**” en caso de definición según el trazado o posicionamiento de elementos a lo largo del mismo.

Esta circunstancia se debe principalmente al hecho de poder resolver casos de uso diferentes. Se ha prestado entonces particular atención a la definición de una estructura espacial lo más genérica posible y libre de vínculos para dar la posibilidad a los usuarios finales de tener la mayor flexibilidad.

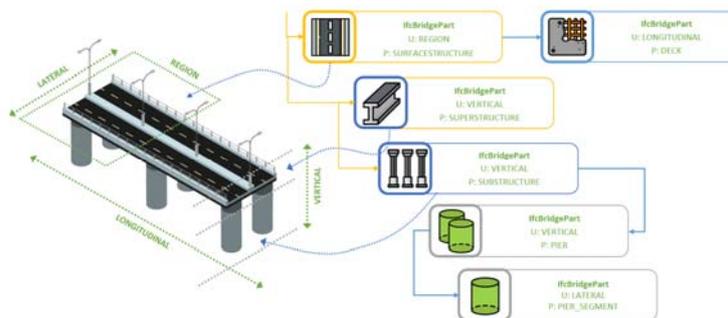


Fig.4 Esquema de posible descomposición de estructura espacial de una infraestructura lineal

2.2. Alineación (Alignment)

El concepto de Alineación (*Alignment*) es, posiblemente el más importante para las infraestructuras lineales. De hecho, por cada infraestructura lineal, la alineación va a definir la directriz a lo largo de la cual todos los demás objetos se posicionarán y a lo largo de la cual las distintas geometrías de los objetos serán generadas.

En consecuencia, el nuevo concepto de “Alignment” se ha estudiado y redefinido desde el principio. Este concepto estaba, en parte, ya presente en versiones anteriores del IFC, pero no se le había dado aún un uso específico y primario; razón para la cual el “Alignment” de la versión 4.3 no es retro-compatible con versiones anteriores.

Para la definición del “Alignment” bajo el punto de vista semántico se creó específicamente una clase IFC, es decir, la definición matemática del trazado que por sí sola bastaría para el intercambio de la información

entre los interesados. Además de su redefinición semántica, también se ha pensado el cómo representar geoméricamente dicho concepto. Es precisamente a través de la definición geométrica del “Alignment” que veremos, más adelante, cómo otros conceptos importantes del “posicionamiento de objetos” y “extrusión paramétrica”, constituirán las bases de los modelos IFC 4.3 de activos de infraestructuras horizontales.

SEGMENT START POINT DISTANCE ALONG 2D [m]	COORDINATE EAST [X]	COORDINATE NORTH [Y]	AHI			AV1			AC1 1500,0 mm			
			TYPE segment	START DIRECTION (orientational)	RADIUS 2D [m]	TYPE segment	HEIGHT [m]	GRADIENT [‰]	RADIUS 2D [m]	TYPE segment	LEFT [mm]	RIGHT [mm]
0,0000	432.413,913900	4.539.436,401000	LN	22,270863	0,000000	EG	5,0000	0,000000		CC	0,0	0,0
294,7194	432.034,415000	4.539.536,869000	CL	22,270863	0,000000					LT	0,0	0,0
274,7194	432.671,898000	4.539.500,813000	CA	21,562023	1,000,000000					CC	0,0	60,0
325,0000						CA	5,0000	0,000000	-5,000,0000			
374,9981						EG	4,7500	-9,999848				
468,1839	432.044,407000	4.539.037,737000	CL	35,866433	1,000,000000					LT	0,0	60,0
508,1839	432.877,917000	4.539.409,548000	LN	37,119673	0,000000					CC	0,0	0,0
547,1654	432.910,471100	4.539.681,021000	CL	37,119673	0,000000					LT	0,0	0,0
587,1654	432.944,000700	4.539.702,831000	CA	35,866433	-1,000,000000					CC	60,0	0,0
625,0019						CA	2,2500	-5,999848	3,000,0000			
674,9994						EG	2,0000	0,000000				
696,5971	431.039,529800	4.539.756,100000	CL	38,899792	-1,000,000000					LT	60,0	0,0
736,5971	431.075,708600	4.539.773,160000	LN	27,626552	0,000000					CC	0,0	0,0
873,1682	431.202,524100	4.539.831,928700	END	0,000000	END	2,000000	0,000000			END	0,0	0,0

Fig.5 Ejemplo de definición semántico del Alignment

2.3. Posicionamiento Linear (LinearPlacement)

En la introducción del concepto de “Alignment” se ha hecho referencia a su utilidad para el posicionamiento de los objetos en el espacio. En los modelos de edificios el posicionamiento de elementos se realiza de forma clásica: los objetos están posicionados y localizados según sus coordenadas x,y,z (*LocalPlacement*). En el mundo de las infraestructuras, en cambio, la forma clásica de definir el posicionamiento de los objetos es a través del posicionamiento respecto al “Alignment” de referencia.



Fig.6 Posicionamiento linear respecto al Alignment

Esta nueva forma de posicionar los objetos respecto al eje de un trazado y no respecto a un sistema cartesiano manifiesta algunas de sus principales ventajas a la hora de realizar cambios y actualizaciones en un modelo modificando su “Alignment”: todos los objetos puntuales precedentemente referenciados al “Alignment”, por ejemplo un palo de catenaria ferroviaria, mantendrían fijas las abscisas curvilíneas y el offset lateral, siguiendo así el nuevo trazado y reposicionándose correctamente respecto al mismo.

2.4. Sección y extrusión paramétrica

El concepto de extrusión paramétrica (a lo largo del “Alignment”) redefine el procedimiento para la generación de las geometrías. Anteriormente a la versión 4.3, una geometría estaba definida por las coordenadas cartesianas de todos los puntos de las N secciones de un trazado. Estos puntos se relacionaban entre sí para formar en sucesión: segmentos, esquinas, caras y volúmenes. Esta manera de definir la geometría, en ocasión de cambios, comporta una nueva redefinición de todas las coordenadas

cartesianas de todos los puntos con consecuentes implicaciones en tema de recálculos y dimensión de los modelos IFC exportados, aspectos particularmente importantes para infraestructuras lineales.

Para la definición de la geometría, la versión IFC 4.3 ha establecido el concepto de sección paramétrica extruida a lo largo del trazado.

Reportamos el ejemplo clásico de la vía: definida la sección paramétrica de la vía, es posible aprovechar la kilométrica del "Alignment" para definir su geometría, por ejemplo, desde el Km-n₁ al Km-n₂. del trazado. Es evidente como este concepto básico es aplicable a casos de usos más avanzados como por ejemplo, cuando es posible definir el gálibo ferroviario y generar su extrusión siempre a través de fórmulas paramétricas. La geometría resultante, además de la propia representación 3D, podrá ser utilizada en operaciones de detección de colisiones o respeto de distancias mínimas.

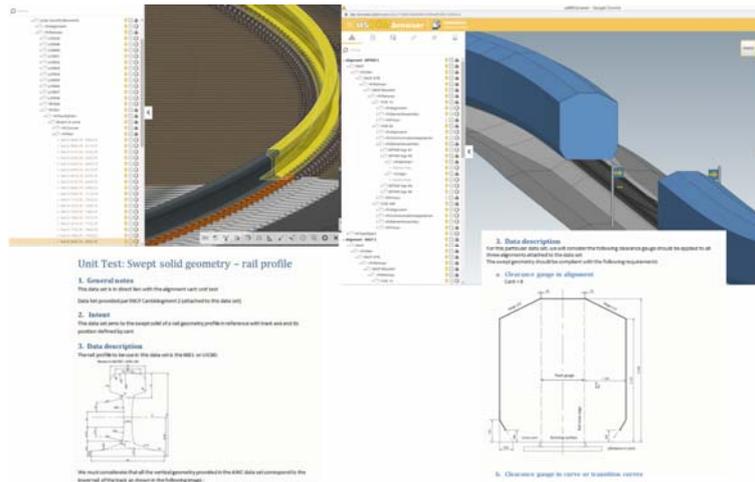


Fig.7 Extrusión de sección paramétrica a lo largo del Alignment

2.5. Ensamblajes, Propiedades y Agrupaciones

En la versión IFC 4.3 hay otros conceptos que no son nuevos pero que, debido a su aplicabilidad en los distintos dominios de infraestructuras lineales, toman un rol más importante con respecto a las versiones anteriores.

El concepto de ensamblaje (Assembly) y su descomposición se aplican, resultando muy útil, cuando hay que responder al nivel de detalle geométrico y de descomposición solicitado y requerido en el modelado. El concepto de ensamblaje es frecuentemente aplicado a componentes o equipos de servicio que se pueden encontrar a lo largo de un ferrocarril; algunos ejemplos clásicos pueden ser representados por componentes de señalización vertical, centrales de telecomunicación o también la misma catenaria de electrificación ferroviaria. Según sus formas de uso, puede ser suficiente una descomposición (números de partes que componen un ensamblaje) menor o mayor.

Si para la definición del nivel geométrico es posible recurrir al concepto de "Assembly", para el nivel de detalle informativo podemos recurrir al concepto de Propiedad y Agrupación de Propiedades; este concepto se refiere, entonces, a la cantidad y a la estructura de datos aplicada a la geometría.

2.6. Unión y Conexión

Otros conceptos importantes para las infraestructuras lineales, destacados durante el estudio previo en fase de definición de la nueva versión, han sido los conceptos de Uniones y Conexiones. Dichos conceptos ponen la atención sobre la definición (tanto geométrica como semántica) de los puntos de contacto y conexión de las distintas partes como, por ejemplo, todo lo referido al cableado de redes a lo largo de los activos.

3. Casos de Uso

Las empresas gestoras de infraestructuras involucradas en las mesas técnicas de los proyectos IFCRail e IFCInfra han, entonces, propuesto una serie de casos de usos reales para investigar y comprobar de qué manera el nuevo estándar IFC 4.3 puede responder a requisitos específicos.

Los distintos casos de usos, más o menos complejos y con finalidad distinta, tratan de responder a requisitos puntuales planteados por las distintas impresas participantes y están basados en datos de infraestructuras reales.

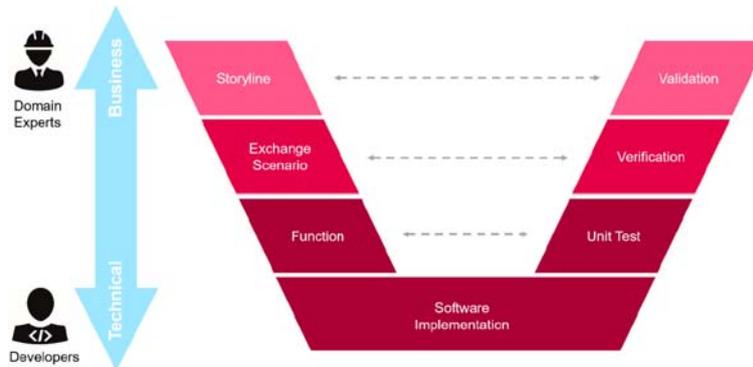


Fig.8 Planteamiento de los caso de uso

Las experiencias presentadas no tienen relación directa entre sí (por desarrollarse a partir de planteamientos y necesidades distintas) pero quieren, todas, demostrar como las necesidades expuestas por los gestores internacionales de infraestructuras lineales pueden ser efectivamente digitalizadas y resueltas a través del nuevo estándar IFC 4.3 y gracias a los conceptos tratados. Es precisamente utilizando y combinando algunos de los conceptos expuestos anteriormente que se han producido modelos y flujos de trabajo para estos casos.

Los distintos desarrolladores software participantes han contribuido en varios modos, por ejemplo, en los casos llevados por el desarrollador ACCA y presentado a continuación, proporcionado la tecnología necesaria para la generación y correcta gestión en el cloud de los modelos IFC 4.3 según las finalidades planteadas.

A continuación se reporta una sintética descripción de algunos de estos casos poniendo atención sobre la puntual necesidad expuesta y a cómo se ha resuelto.

3.1. Caso de Uso SNFC (Francia)

El primer caso propuesto ha sido llevado junto a SNFC, administrador francés de ferrocarriles. En el caso se ha propuesto implementar, en particular, los conceptos de "Alignment" y extrusión paramétrica. A través de la solución informática se ha procedido a la extracción automática de las características del "Alignment" y a las descomposiciones verticales, longitudinales y de super-elevación que han permitido la definición semántica y geométrica del trazado.

El paso siguiente ha sido generar las secciones paramétricas de los componentes a modelar (galibo ferroviario y superestructuras de vías) utilizando la información gráfica y alfanumérica en uso por SNFC.

Definidas también las secciones paramétricas tipo, los desarrolladores han podido precisar y aplicar las fórmulas (paramétricas) necesarias a generar las extrusiones paramétricas a lo largo del trazado para la generación del modelo 3D (figura 3 en párrafo 2.4).

En el modelo, posteriormente, se ha aplicado el concepto de posicionamiento lineal a lo largo del trazado para localizar las traviesas.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

"05_SNFC_Parte 02.mp4". *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/643009fdd12105694a93c753>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

3.2. Caso de Uso FTIA (Finlandia)

El caso de FTIA (administrador de transportes públicos finlandés) se ha centrado en la digitalización de datos existentes con la finalidad de conectar el modelo a sistemas externos de operación y mantenimiento (facilities management). El uso previsto por el modelo ha determinado entonces un nivel de detalle diferente entre la parte de superestructura viaria (balasto, vías, traviesas) con un detalle de definición muy bajo, y la parte relativa a los elementos objeto de operación y mantenimiento (por ejemplo señalización vertical luminosa) con un detalle de definición muy alto. Estos elementos, de hecho, han sido modelados como ensamblajes y se han definido en detalle a través una descomposición en partes muy elevada. La parametrización e información asociada a las distintas partes, finalmente, ha sido definida con un objetivo único: el de la conexión a los sistemas de mantenimiento.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

"02-FTIA.mp4". *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/643022dcd1210519eb93ca86>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

3.3. Caso de uso SBB (Suiza)

El presente caso se ha llevado junto a SBB, sociedad de ferrocarriles de Suiza. El objetivo de la experiencia ha sido aquella de crear una biblioteca propia de elementos BIM para desvíos ferroviarios en formato IFC 4.3. Esto ha sido posible y planteado ya que los componentes en uso (desvíos ferroviarios) eran bien definidos por tipo y numero.

Diferentemente al caso anterior, en este caso el nivel de detalle y definición geométrica de los componentes de la superestructura ferroviaria ha sido muy elevado, mientras que el nivel de detalle informativo (conjunto de propiedades) ha sido más bajo. Esta circunstancia de bajo nivel informativo se ha dado porque los objetos modelados (desvíos ferroviarios) se plantean valorizar puntualmente y más en detalle solo a la hora de ser utilizados en los distintos casos de aplicación real.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

"03_SBB CFF FFS.mp4". *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/643021dfd121058d1c93ca4e>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

3.4. Caso de uso MINnD (Francia)

En este caso se ha prestado principal atención a las actividades de coordinación entre disciplinas dejando en segundo orden el modelado en detalle. Para la experiencia se han generado varios modelos disciplinarios pertenecientes a distintos dominios (carreteras, puentes, ferrocarriles) que se han federado posteriormente en una vista única. En este caso el nivel de detalle geométrico alcanzado ha sido relativamente bajo ya que uno de los objetivos principales del caso ha sido la digitalización del cableado de los distintos modelos. Con respecto al cableado en particular, se ha procedido entonces a la definición geométrica y semántica de los puntos de contacto y uniones de las distintas redes que ha servido para la coordinación multidisciplinaria entre los varios modelos y dominios.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

"01-MND.mp4". *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64300969d121051af893c731>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

3.5. Caso de uso SNCF (Francia)

Otro caso de uso propuesto por el equipo francés SNCF ha sido finalizado a la digitalización de algunas centrales y estaciones de telecomunicaciones en uso ubicadas en distintos tramos de ferrocarriles. En este caso se ha procedido a una definición bastante detallada tanto geométrica como informativa, prestando particular atención también a la conexión semántica entre las partes. También en este caso, los conceptos de descomposición y agrupación han dado la posibilidad de definir y modelar las diferentes configuraciones tipo de estaciones de telecomunicaciones.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

"04-SNCF_Parte 01.mp4". *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64302266d121052ea493ca68>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

3.6. Caso de uso RFI (Italia)

El caso de uso de RFI, el administrador de ferrocarriles italiano, tiene como finalidad el de digitalizar un tramo existente de ferrocarril de 50 Km (tramo Benevento-Cancello). La gran dimensión y complejidad del modelo ha requerido testear y probar tanto el estándar como las herramientas tecnológicas en digitalización y gestión de activos de grandes dimensiones.

Se ha realizado entonces un modelo con un trazado de 50 Km con un elevado detalle geométrico, tanto de los componentes puntuales como lineales.

También en este caso se ha procedido con un modelado de tipo multidisciplinar, contando con una geometría y semántica de los elementos consecuentes y conformes al conjunto de información (gráfica y alfanumérica) facilitada por el gestor RFI.

La coordinación multidisciplinaria también ha previsto acciones de comprobación geométrica entre modelos a través de operaciones de detección de colisiones e interferencias, por ejemplo entre las estructuras de servicio para el cableado y las sub estructuras de la catenaria de electrificación.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

"06-RFI.mp4". *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64300918d121053f8193c726>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

3.7. Caso de uso Nordics (Noruega)

En este caso de Nordics, no se ha tratado el tema ferroviario, sino de otro tipo de infraestructura como puentes. Particularmente se ha estudiado como convertir modelos ya existentes en formato abierto (IFC 2x3 y 4) a la nueva versión IFC 4.3. Para los distintos modelos se ha procedido entonces a la definición de la nueva estructura espacial y al mapeado de los distintos componentes según las nuevas clases introducidas por el IFC 4.3.

La experiencia ha planteado y demostrado la posibilidad, así como la oportunidad, de actualizar el propio patrimonio digital, siempre en formato abierto y en determinados casos, prescindir de soluciones de software propietarias.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

"07-NORDICS.mp4". *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/6430185ed12105604393c84b>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

3.8. Caso de uso IFC Road - ANAS (Italia)

El presente caso de uso ha sido llevado por el equipo de trabajo de buildingSMART Italia, equipo de trabajo que lleva el nombre de IFCRoad Italia, contando con la participación de ANAS (gestor de la red viaria de Italia).

La experiencia ha llevado la digitalización de un tramo de carretera existente aprovechando el nuevo estándar IFC 4.3 para la descomposición y definición de las nuevas clases.

También en este caso se ha producido un modelo con elevado detalle tanto geométrico como informativo; en particular, el conjunto de propiedades ha sido definido por ANAS conforme a la propia exigencia de gestión y operación.

En el siguiente video se muestra una síntesis del caso de uso descrito:

“08-ANAS.mp4”. *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64301818d12105969693c83b>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

Los modelos producidos para este caso de uso están disponibles y consultables a través del siguiente enlace:

buildingSMART Italy - iBIMi. *Modello informativo federato*.

<<https://www.buildingsmartitalia.org/utenti/pubblicazioni/guida-allifc-per-il-progetto-stradale/modello-informativo-federato/>> [Consulta: 7 de abril de 2023]

4. Procedimiento y método de trabajo

Para la generación de los modelos y para llevar a cabo los casos de uso presentados se han desarrollado herramientas específicas; algunas de estas herramientas se han implementado totalmente en la nube.

Las soluciones se han desarrollado para que sean capaces de especificar y gestionar los conceptos básicos y fundamentales tratados y para poder generar modelos conformes al nuevo formato IFC 4.3.

Tomando como ejemplo un específico modelo (mostrado a continuación), la solución informática ha dado la posibilidad de definir la descomposición espacial del proyecto y ha permitido recolectar todo el conjunto de datos relativos al “Alignment” y a las fórmulas para la definición de las secciones y extrusiones paramétricas.

La gran cantidad de datos recolectados, analizados e implementados no han sido importados manualmente por un operador; para ese fin los desarrolladores han predispuesto herramientas informáticas capaces de “traducir” y aplicar todo el conjunto de datos recolectados a la nueva estructura del IFC.

A los datos recolectados y sistematizados se ha podido, entonces, asociar una geometría y una clase IFC elegida entre las nuevas propuestas por el nuevo estándar y se ha podido así generar el modelo final.

En el siguiente video se muestra un extracto del procedimiento descrito:

“Modelado 4.3.mp4”. *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/642fed43d12105721693c5b5>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

5. Conclusiones

El BIM, como metodología y como tecnología, ha ganado protagonismo y centralidad en el importante proceso en curso de digitalización del sector AECO; mientras el openBIM se reafirma como protagonista indispensable para el cumplimiento de procesos colaborativos así como para la gestión y conservación del patrimonio digital.

El openBIM ha sentado sus bases sólidas sobre los estándares y los formatos abiertos y en particular sobre el IFC; manifestando así la importancia de mantener siempre vivo y actualizado el formato IFC para que pueda ser correspondiente y de soporte a las exigencias planteadas por sector AECO.

Aunque en el momento de la redacción de la presente comunicación ya se ha publicado la nueva versión IFC 4.3, los casos propuestos destacan una parte importante del análisis previo a su publicación, estudiando los requisitos del sector y comprobando la aplicabilidad y potencialidad del formato en usos reales.

Como se ha destacado, el IFC 4.3 toma particular importancia porque extiende los beneficios del IFC y del openBIM a las infraestructuras lineales, hasta ahora no contempladas en su totalidad por el estándar. La publicación del IFC 4.3, está claro, no representa el punto de llegada sino solo otro punto de partida para la continua y necesaria evolución del estándar.

En relación con el IFC 4.3, en este momento la responsabilidad pasa a las manos de todos los involucrados en varios títulos en la cadena del diseño, ejecución y operación: a los desarrolladores software para que lo implementen en las propias soluciones, a los promotores y licitadores para que lo soliciten, beneficiando de todas sus potencialidades, a los profesionales y usuarios de modelos digitales de forma que entre a ser parte de la práctica cotidiana, sirviendo como una Clase Fundacional de la Industria (IFC) de la AECO que efectivamente soporte la transformación digital del sector en lo relativo a infraestructuras lineales.

Referencias

ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries <<https://www.iso.org/standard/51622.html>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

RICHARD KELLY, "The status of IFC 4.3 and the benefit of further extensions as IFC 4.4" <<https://www.buildingsmart.org/the-status-of-ifc-4-3-and-the-benefit-of-further-extensions-as-ifc-4-4/>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

ACCA software, "IFC 4.3, el estándar openBIM para infraestructuras. Posibles aplicaciones" en Bliplus BIM, 23 de mayo. <<https://bliplus.accasoft.com/es/ifc-4-3-estandar-openbim-para-infraestructuras/>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

buildingSMART International, IFC Release Notes, <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ifc-release-notes>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

buildingSMART International, IFC Rail Project Phase 2, <<https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/railway/ifc-rail-project-phase-2/>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

IFC Road Italia, buildingSMART Italy-iBIMi, <<https://www.buildingsmartitalia.org/standard/gdl-italiani/ifc-road-italia/>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"05_SNFC_Parte 02.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/643009fdd12105694a93c753>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"02-FTIA.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/643022dcd1210519eb93ca86>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"03_SBB CFF FFS.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/643021dfd121058d1c93ca4e>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"01-MND.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64300969d121051af893c731>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"04-SNCF_Parte 01.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64302266d121052ea493ca68>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"06-RFI.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64300918d121053f8193c726>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"07-NORDICS.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/6430185ed12105604393c84b>> [Consulta: 07 de abril de 2023]

"08-ANAS.mp4", *usBIM.media*, <<https://service.usbim.com/link/64301818d12105969693c83b>> [Consulta: 07 de abril de 2023]



IMPLEMENTACIÓN BIM EN MEGAPROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

Chuquín-Montoya, Frank^a; Sairitupa-Lopez, Mirna^b; Saire-Canales, Romina^c; Chuquin-Montoya, Cristhian^d

^aLecturer, Researcher at Construction Management & Technology Research Group (GETEC), Pontifical Catholic University of Peru, Lima, Peru, frank.chuquin@pucp.pe, ^bAgricultural Engineer at Authority of Reconstruction with Changes, Lima, Peru, msairitupa@rc.gov.pe, ^cResearcher at Construction Management & Technology Research Group (GETEC), Pontifical Catholic University of Peru, Lima, Peru, rsairecanales@gmail.com, ^dCivil Engineer, Researcher at Construction Management & Technology Research Group (GETEC), Pontifical Catholic University of Peru, Lima, Peru, chuquin.cr@pucp.edu.pe

Abstract

The implementation of BIM in hydraulic infrastructure projects in Peru is relatively new, especially in the construction of river defense projects. This paper describes the BIM implementation process from the perspective of the Appointing Party according to the ISO 19650 standard. The difficulties for a public institution are exposed from the process of project procurement and design. The implementation is analyzed considering processes, technology and people. In the design stage, Lean design procedures have been included, which together with BIM seeks to generate synergies between the two, as well as to manage change within the participating organizations in a collaborative contract environment.

Keywords: BIM, Implementation, Design, Lean, Set Based Design, ISO 19650, Change Management, Collaborative Contract,

Resumen

La implementación de BIM en proyectos de infraestructura hidráulica en el Perú es relativamente nueva en especial en la construcción de proyectos de defensas ribereñas. El presente trabajo describe el proceso de implementación BIM desde la perspectiva de la Entidad Contratante acorde al estándar ISO 19650. Se exponen las dificultades para una institución pública desde el proceso de procura del proyecto y diseño. Se analiza la implementación considerando los procesos, tecnología y personas. En la etapa de diseño se ha incluido procedimientos de un diseño Lean que en conjunto con BIM busca generar sinergias entre ambos además de gestionar el cambio dentro de las organizaciones participantes en un entorno de contrato colaborativo.

Palabras clave: BIM, Implementación, Diseño, Lean, Diseño basado en alternativas, ISO 19650, Gestión del Cambio, Contrato Colaborativo

Introducción

Los proyectos públicos referidos a obras hidráulicas, en particular defensas ribereñas y diques de retención de sedimentos cuya gestión de la información se realiza bajo la metodología BIM son escasos en Perú. Sin embargo, como parte del portafolio de proyectos que buscan disminuir el riesgo frente a inundaciones y movimientos de masa provocados por el efecto del fenómeno del Niño, el estado peruano ha iniciado con la colaboración técnica de un equipo de empresas del Reino Unido, el diseño y construcción de estas obras en los ríos y quebradas del Norte Peruano.

En particular se analizará uno de los proyectos de defensas ribereñas que tiene un costo de inversión de 400 millones de dólares. Este proyecto incluye el diseño y construcción de 65 km de defensas ribereñas en ambas márgenes del río.

El presente caso de estudio analiza la implementación BIM en este proyecto desde una perspectiva del estándar ISO 19650 y abarca la etapa de licitación o procura hasta la finalización del diseño.

Además, en la implementación BIM se incluye como parte del proceso de diseño la metodología Lean, en particular la herramienta llamada “diseño basado en alternativas” (set based design). La gestión del cambio resultó imperativa para un correcto inicio de la implementación y el desarrollo de la misma, así como un entorno de contrato colaborativo.

1. Conceptos Clave

1.1. ISO 19650 series

Como parte de la labor de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) es crear consenso entre expertos que buscan compartir su conocimiento al mercado a través de la elaboración de estándares internacionales. El estándar ISO 19650 está compuesto por 5 partes, de las cuales en esta investigación se utiliza la ISO 19650-1:2018 de conceptos y principios, así como la ISO 19650-2:2018 de la fase de entrega de los activos. Existen además publicadas la ISO 19650-3:2018 de la fase de operación de los activos, la ISO 19650-4 referida a intercambio de información y la ISO 19650-5 sobre la seguridad de la información.

1.2. Diseño basado en alternativas

Es una herramienta de diseño lean la cual consiste en la formulación de diferentes alternativas de diseño que deben ser evaluadas hasta el último momento responsable (Hill, 2016). Esta evaluación de cada alternativa estará basada en diferentes criterios e incrementa el compromiso y atención de los involucrados. Se define el último momento responsable como aquel que no impactará de manera negativa en la duración del diseño.

1.3. Gestión del cambio

Una de las teorías de gestión del cambio (Kotter,1997) más reconocidas señala 8 pasos para generar un ambiente que permita el cambio en las organizaciones. Estos ocho pasos son los siguientes: crear un sentido de urgencia, crear una alianza que lidere el cambio, crear una visión, comunicar la visión, remover barreras, alcanzar objetivos rápidamente, mantener el ritmo y hacerlo cotidiano.

La implementación de nuevas ideas, conceptos y metodologías de trabajo en una organización trae consigo resistencia al cambio, barreras y dificultades que deben ser tratadas convenientemente a través de la gestión del cambio.

1.4. Contrato NEC "Nuevo contrato de ingeniería"

Un contrato colaborativo NEC es una herramienta para la gestión de proyectos de manera eficaz y proactiva. Se caracterizan también por su flexibilidad y por utilizar un lenguaje sencillo y sin referencias

cruzadas. Estos contratos colaborativos suelen establecer indicadores de rendimiento o performance que buscan promover el alcanzar determinados objetivos. Este tipo de contrato genera una relación colaborativa entre distintos equipos involucrados. (cliente, supervisión, contratista, subcontratista y proveedores) debido a que todos se comprometen en compartir de manera transparente toda la información con el fin de optimizar el proyecto, señalar dificultades y solucionarlas en equipo, lo que permite que se puedan controlar mejor los distintos recursos del proyecto (Wright, 2007). Estos contratos son una respuesta a los tradicionales contratos transaccionales.

2. Hipótesis

La implementación de la gestión de la información bajo la metodología BIM alineado a la ISO 16650-1 e ISO 19650-2 en una institución gubernamental en Perú que desarrolla proyectos hidráulicos como defensas ribereñas y diques de retención de sedimentos permite alcanzar mayor eficiencia y eficacia en la entrega de estos proyectos de infraestructura. Entonces, las preguntas de investigación son: ¿cuán factible es la implementación de BIM en estos proyectos hidráulicos? y ¿cuáles han sido las dificultades técnicas y de gestión encontradas?

3. Metodología

La implementación realizada en el proyecto de infraestructura hidráulica se ejecutó siguiendo los 8 procesos de la ISO 19650-1 y los conceptos de la ISO 19650-2 en un entorno de un contrato colaborativo. En el contexto de esta investigación se realizaron entrevistas y encuestas a los involucrados con el fin de obtener información de fuente primaria sobre los logros, dificultades y barreras en el proceso de implementación. Teniendo en cuenta ello, se revisó la literatura relacionada a distintas metodologías y herramientas. Para nuestro caso de estudio se trató de metodologías como ISO 19650 y gestión del cambio de Kotter. Así como la herramienta lean denominado diseño basado en alternativas.

Además, se realizó un análisis a los documentos y entregables producidos desde la procura del proyecto hasta la finalización del diseño del caso de estudio. Entre los documentos o entregables que se han revisado son los siguientes: Pre-BEP, Guía BIM, EIR, Post-BEP y modelos BIM. Luego, se realizaron otras entrevistas y encuestas de confirmación de los hallazgos al personal clave dentro de la gestión del proyecto como: gerente de proyecto, especialista BIM y demás especialistas del proyecto en estudio. La figura 1 muestra la metodología utilizada en la presente investigación.

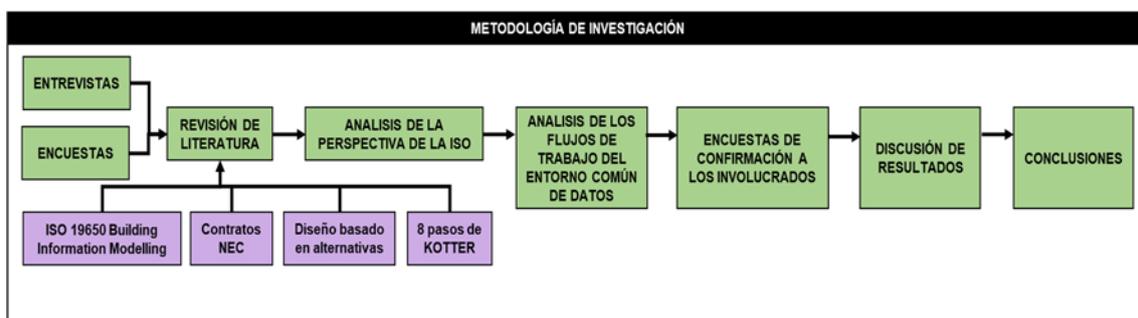


Figura 1. Metodología de la investigación. Fuente:propia

4. Resultados

La norma ISO 19650-2 establece 8 pasos a seguir en la implementación BIM, los cuales son: evaluación y necesidades, invitación a licitar, respuesta del postor, contratación, movilización, producción colaborativa de la información, entrega del modelo de información y cierre del proyecto (UK BIM Framework, 2022).

La entidad contratante estudiada implementa los siguientes procesos con las herramientas que a continuación se detallan:

4.1 Evaluación y necesidades

El proyecto en estudio se ubica en una de las regiones del norte del país y se asignó a un especialista BIM en el equipo del proyecto. La entidad contratante ha elaborado el documento denominado guía BIM en donde se señalan requerimientos de información, aunque estos requerimientos no están claramente identificados como requerimientos de información organizacionales (OIR), requerimientos de información del proyecto (PIR) o requerimientos de información del activo (AIR). Es decir, estos requerimientos están descritos como objetivos generales en el documento BIM.

No se ha detectado ni en el documento denominado Guía BIM o el documento denominado EIR los hitos de entrega de información del proyecto. Sí se señala en la guía BIM los diferentes estándares que se deben cumplir, entre ellos se señala: ISO 19650-1, ISO 19650-2 e ISO 19650-3. No se han establecido los métodos y procedimientos de producción de información por parte de la entidad contratante. La información de referencia y recursos compartidos han consistido en información de estudios topográficos, geotécnicos, geológicos e hidrología del área de estudio (esta documentación forma parte del estudio del proyecto de inversión) para el desarrollo del diseño del proyecto. Sí se ha establecido un CDE contractual que es Aconex. No se ha establecido un protocolo de información del proyecto.

4.2. Invitación a licitar

La entidad contratante sí ha elaborado el documento denominado “EIR requerimientos de intercambio de información” aunque no se definen en este documento los hitos de entrega de información y los puntos de decisión. Sí se realiza una recolección de información de referencia que es el estudio del proyecto de inversión. En esta etapa de procura/licitación se tienen dos etapas: precalificación y la instrucción a los postores. En ellas se establecieron criterios de evaluación y los requerimientos de respuesta de los postores. Incluso, la entidad contratante adjunta una plantilla BEP para que ésta sirva de referencia cuando el postor elabore su pre-BEP. Sin embargo, estos criterios de evaluación no profundizan en la gestión de la información bajo la metodología BIM. Se ha compilado la información y se remite está en la etapa de la procura denominada “instrucción a los postores”.

4.3. Respuesta del postor

El postor en la documentación que entrega como su oferta técnica-económica adjunta el pre BEP basado en la plantilla entregada en el proceso anterior. Los postores no han indicado quienes son las personas que realizarán la función de la gestión de la información solamente mencionan los roles que necesitarán. El pre BEP entregado está muy limitado demostrando de esa manera que el mercado o las empresas postoras dedicadas al diseño y construcción de obras hidráulicas no están adecuadamente capacitadas para gestionar la información bajo la metodología BIM. No hay una evaluación de la capacidad y destreza del equipo de entrega. No hay un plan de movilización ni un registro de riesgos del equipo de entrega.

4.4. Contratación

La parte designada elaboró y presentó el post BEP para aceptación de la entidad contratante. Este documento entra a mayor detalle que el pre BEP, asignando con nombres a las personas que asumirán la gestión de la información. Este documento fue aceptado luego de dos presentaciones previas del mismo documento. Desde el ingreso del post BEP para su revisión y su aceptación final pasaron 32 días calendario (8/07/ al 10/08). La revisión 0 fue ingresada el 8 de julio 2021 y fue aceptada el 10 de agosto. En este post BEP se señalaron 13 usos BIM a implementar, de los cuales 7 se realizan en la etapa de diseño y son los que se muestran en la tabla 1.

La matriz de responsabilidad no es detallada es todavía muy general ya que solamente se ha utilizado la correspondiente al que se muestra en el anexo de la norma ISO 19650-2. No hay registro o una trazabilidad de los requerimientos de intercambio de información de la parte designada. Sí se muestra dentro del post BEP el plan maestro de la entrega de información (MIDP), pero no hay registro ni trazabilidad de los planes

de tareas de entrega de información (TIDP). Sí se tiene completos los documentos de la parte designada como son: post BEP y MIDP excepto el protocolo.

Tabla 1. Usos BIM en el proyecto. Fuente: Documentos del Proyecto

Usos BIM	Diseño
levantamiento de condiciones existentes	Sí
visualización	Sí
coordinación 3D	Sí
obtención de planos	Sí
obtención de mediciones	Sí
generación de infografías	Sí
recorridos virtuales	Sí

4.5. Movilización

Sí se realiza la movilización de recursos y de tecnología porque se contrata personal y además se realiza la adquisición de equipos de cómputo y de licencias por la parte designada. Así también, se define la necesidad de capacitar al personal en el uso del entorno común de datos CDE elegido. También pone a prueba los procedimientos y métodos propios de la producción de la información que se detallaron en el post BEP aceptado.

4.6. Producción colaborativa de la información

La parte designada sí realiza una revisión de la información de referencia y de recursos compartidos. Esta revisión le sirve de base para planear las actividades de campo para los estudios especializados que luego serán utilizados en el diseño. La generación de información se realiza en cada una de los estudios especializados o disciplinas: topografía, geología, geotecnia, paisajismo, hidrología, hidráulica fluvial, ambiental, predial, social y BIM. Estas disciplinas generaron modelos de información individuales que luego fueron federados, La figura 2 muestra la generación de información por las especialidades de topografía, diseño estructural, geotecnia y geología que luego se integran en un modelo federado. El aseguramiento de calidad ha sido cuestionable ya que más adelante en el flujo de información, se ha encontrado observaciones e incompatibilidades entre los entregables de distintas disciplinas, por ejemplo entre lo que recomienda el entregable social, los requerimientos ambientales y la propuesta de ubicación de los ejes de los diques. En particular, sobre la revisión del modelo de información esta es realizada por cada una de las disciplinas. Sin embargo, este proceso no tiene un adecuado resultado por la falta de integración entre las mismas. La figura 2 muestra la producción colaborativa de la información.

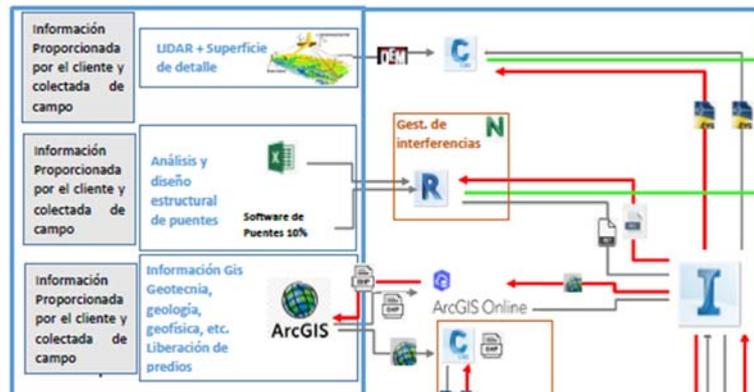


Fig. 2 Generación de modelos de especialidades. Fuente: Documentación del Proyecto

4.7. Entrega del modelo de información

En este punto, todas disciplinas comparten la información con la parte designada con lo cual se cumple con el flujo de trabajo indicado por la norma ISO 19650-2. La parte designada revisa y acepta, pero no deja registro o trazabilidad de lo que ha revisado por tanto el aseguramiento de la calidad también es cuestionable en este punto. Luego, este modelo de información fue enviado a la entidad contratante a través del Entorno común de datos contractual para la revisión del mismo. Ha sido una práctica común el que la entidad contratante emita observaciones y comentarios al entregable con lo cual era necesario que la parte designada levante las observaciones y vuelva a enviar el entregable. Esto hacía que se generen reprocesos y que el entregable sea aprobado en la segunda revisión. Esto deja en duda la robustez del aseguramiento de calidad previo así como del control de calidad realizado en los pasos previos antes de que el entregable llegue a la entidad contratante. Como producto de este proceso “entrega del modelo de información” se obtiene el modelo federado como se muestra en la figura 3.

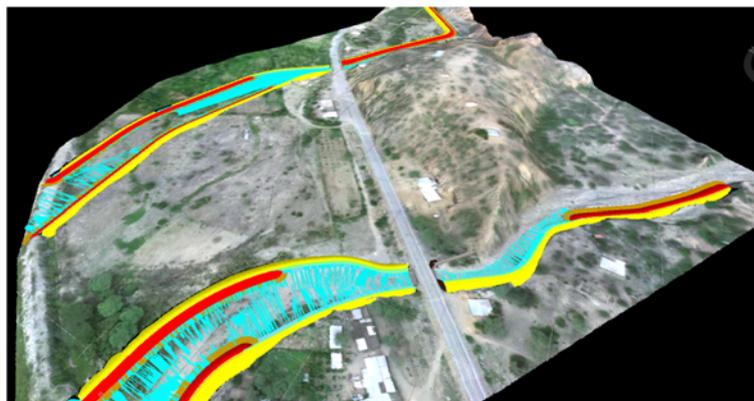


Fig. 3 Modelo federado mostrando topografía y ubicación de defensas ribereñas. Fuente: Documentación del Proyecto

4.8. Cierre del proyecto

Debido a que el proyecto todavía no ha terminado el diseño por completo, se tiene en los contenedores de información “publicado” y “archivado” los entregables que se han establecido y aceptado hasta el momento. Sin embargo, sí hay lecciones aprendidas para proyectos futuros, que se han recogido en reuniones de coordinación a través del especialista BIM.

5. Discusión

Luego de presentar los resultados de la implementación BIM a través de un análisis de lo alcanzado a través de cada uno de los 8 procesos de la ISO 19650-2 en la sección anterior. Lo que corresponde en esta

sección es discutir las barreras y dificultades desde una perspectiva que involucra: procesos, personas y tecnología.

5.1. Procesos

La necesidad de implementar una matriz que señale la información o metadatos que se requiere en los objetos del modelo se encontró que debía ser implementado de manera más estricta. Esto se realizó al establecer los requerimientos de intercambio de información (EIR) más específicos incluyendo el nivel de desarrollo (LOD) y el nivel de información (LOI). Incluso, se encontró que era más conveniente explorar y describir en más detalle el concepto de nivel de información necesario que se tiene en la ISO 17412-1.

Se encontró que era necesario desarrollar en mayor detalle (tanto en el Pre BEP como en el post BEP) los procedimientos de aseguramiento y de control de calidad entre los diferentes involucrados. Es decir, antes de que las disciplinas liberen información a la parte designada tiene que existir un riguroso control de calidad. Esto mismo debe ocurrir antes de que la parte designada libere información a la entidad contratante. Por tanto, se desarrollaron mapas de proceso que permitieron analizar y hacer visible el paso a paso de ese aseguramiento y control de calidad.

Debido a la inclusión de la herramienta Lean denominada “diseño basado en alternativas” se pudo aprovechar la generación de modelos digitales para poder visualizar y entender las diferentes alternativas de diseño que se planteaba y de esa manera elegir el diseño óptimo. Se incluyó como requerimiento en los alcances de contratación que la parte designada debía proponer 3 alternativas de diseño y que éstas incluyan un modelo digital. Esto facilitó la gestión visual y la comunicación ya que los distintos involucrados (especialistas de cada área) podían contar con reuniones colaborativas en donde se visualiza los modelos federados, esto permitía conocer el problema a tratar en mayor detalle y tomar una decisión más informada.

5.2. Personas

La búsqueda de personal capacitado en la gestión de la información bajo la metodología BIM para ocupar el puesto dentro de la entidad contratante como especialista BIM fue una tarea difícil ya que tomó dos convocatorias. En la primera convocatoria se declaró desierto el concurso público para selección del personal. Por tanto, tomó 7 semanas poder reclutar el especialista BIM. Cabe señalar que en la segunda convocatoria se disminuyeron las exigencias relacionadas a experiencia y formación académica para permitir mayor cantidad de concursantes. Esta medida incluía considerar una capacitación inicial a quien fue seleccionado. Este tiempo prolongado demostró la dificultad de encontrar personal capacitado en el mercado local.

También, es conveniente señalar que el mercado nacional de empresas de diseño y construcción ha tenido dificultades para liderar la gestión de la información bajo la metodología BIM para obras hidráulicas. Esto por la dificultad de contar con personal idóneo. Por ello, las empresas se potenciaron con personal de sus empresas matrices. Por la magnitud, en tiempo y costo las sucursales asentadas en el país han recurrido a la casa matriz de la empresa en búsqueda de soporte especializado.

Siendo este proyecto multidisciplinario en donde se integran las siguientes especialidades: topografía, geología, geomorfología, geotecnia, hidrología, modelamiento hidráulico, diseño hidráulico, ambiental, paisajismo, social y predial. El carácter multidisciplinario hizo que el personal de estas especialidades deban tener un conocimiento básico de las potencialidades del uso de modelos de información que les permitiera realizar su trabajo de manera más integrada y como parte de una gestión visual. Por tanto, fue necesario realizar capacitaciones internas y reuniones de trabajo colaborativas para explicar qué ventajas podría aprovecharse en sus disciplinas cuando se evalúa con un modelo digital.

La gestión del cambio ha jugado un rol importante en la búsqueda de implementar la gestión de la información bajo la metodología BIM sobre todo en la dimensión de “personas”. Producto de las encuestas formuladas al personal involucrado en el proyecto, se puede destacar dentro de los pasos 8 pasos que señala Kotter (1997) como los pasos más influyentes en este caso de estudio a los siguientes: a) crear un

sentido de urgencia, b) crear una alianza que lidere el cambio, c) remover las barreras y d) alcanzar objetivos rápidamente. En el siguiente párrafo se describen algunos puntos relevantes de estos cuatro pasos.

Se creó un sentido de urgencia al considerar que estos proyectos debían implementarse siguiendo buenas prácticas internacionales y que permita incorporar la digitalización de la construcción. Luego, con el liderazgo de los directivos de la institución se incluyó desde los documentos de procura la necesidad de gestionar la información, sin esta decisión institucional no se habría producido la implementación. Remover barreras como la necesidad de hardware y software, así como las barreras de resistencia al cambio fueron consideradas para la implementación. Se buscó hacer visible el trabajo alcanzado con la implementación a través de reuniones de coordinaciones donde se podía visualizar los modelos digitales con infraestructura existente, modelos digitales con el diseño preliminar, modelos digitales con diferentes escenarios/alternativas de diseño y modelos digitales de la solución elegida para el diseño final.

5.3. Tecnología

La entidad contratante siendo una institución gubernamental tenía serias limitaciones en cuanto a adquirir el hardware y software necesarios para una implementación BIM. Por ello, se incluyó en los documentos de procura como requerimientos de la entidad contratante la necesidad de que la parte designada brinde licencias de software al especialista BIM de la entidad, en particular el acceso al entorno común de datos en la nube. Si bien, el costo sigue siendo asumido por la entidad contratante por esta licencia adicional. Al hacer responsable a la parte designada de proporcionar la licencia se acortan los tiempos, esto permite adquirir de manera más rápida en comparación a realizar la adquisición por el procedimiento interno de logística de la entidad contratante. Además, al tener la posibilidad de visualizar los modelos en la nube se evitó la necesidad de potenciar el hardware existente de la entidad contratante.

Tabla 2. Dificultades/barreras y plan de mejora implementado. Fuente: Elaboración Propia

Dificultades/barreras	Plan de mejora	Personas	Procesos	Tecnología
a) Escaso detalle del nivel de información necesario en los objetos de los modelos digitales	Implementación de tabla de elementos.		X	
b) Poca rigurosidad en los procesos de aseguramiento y control de calidad realizados por la Parte Designada	Diseño de mapas de procesos de aseguramiento y control de calidad.		X	
c) Encontrar personal capacitado en el mercado local.	Disminuir las exigencias. Esta medida incluía una capacitación inicial.	X		
d) Equipo multidisciplinario con limitado conocimiento en gestión de la información bajo la metodología BIM	Capacitaciones internas y reuniones de trabajo colaborativas.	X		
e) Limitaciones de hardware y software por parte de la entidad contratante.	Requerimiento de licencia adicional, uso de entorno común de datos y visualización en la nube.			X
f) Empresas de diseño y construcción tuvieron dificultades para contratar personal idóneo.	Potenciaron su personal especializado con la empresa matriz.	X		

Luego de haber analizado el proceso de implementación a través de las dimensiones de “personas”, “procesos” y tecnología. Se ha procedido a mapear las interacciones ocurridas entre los procesos de la implementación ISO 19650, la gestión de cambio de Kotter y la herramienta de diseño lean denominada “diseñado basado en alternativas”. La figura 4 muestra estas interacciones.

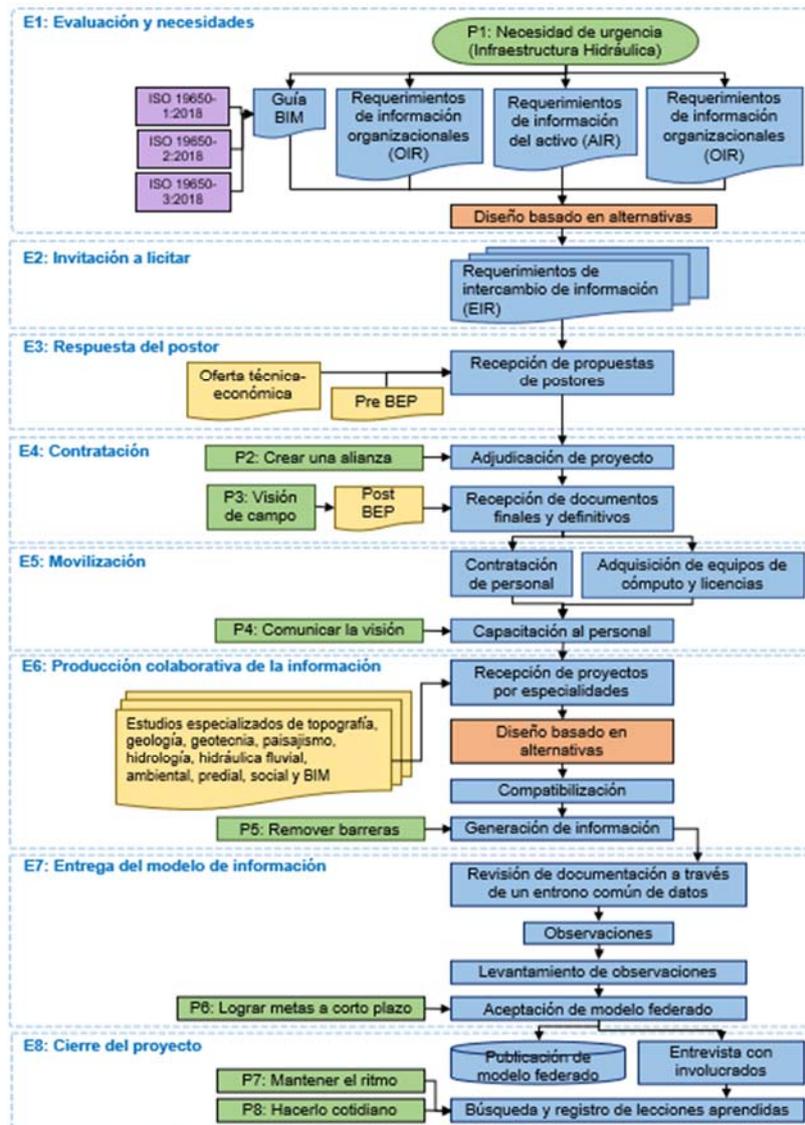


Fig. 4 Mapeo de Procesos detectado en el caso de estudio. Fuente: Elaboración Propia

6. Conclusiones

Se ha logrado implementar BIM en un proyecto hidráulico de defensas ribereñas y diques de retención de sedimentos desde la procura a través de los conceptos y procesos que se definen en la ISO 19650-1 y 19650-2. Se ha hecho factible esta implementación a partir de incluir una estrategia de gestión del cambio que permita liderar y superar las barreras y dificultades encontradas en el camino en un entorno de un contrato colaborativo.

En el proceso de implementación han existido barreras y dificultades que han sido descritas en la sección de discusión y que pueden ser resumidas como: a) escaso detalle del nivel de información necesario en los objetos de los modelos digitales; b) poca rigurosidad en los procesos de aseguramiento y control de calidad realizados por la Parte Designada; c) necesidad de capacitación interna para el personal de la Entidad Contratante y de la Parte Designada; d) la naturaleza del proyecto que es multidisciplinario ha traído

dificultades para integrar la información por tanto se han detectado incompatibilidades entre las distintas disciplinas no solo en modelos 3D sino también en la información escrita en los informes de las disciplinas o estudios especializados; e) limitaciones de hardware y software por parte de la entidad contratante. Todas estas dificultades caen bajo la responsabilidad de la entidad contratante y es el llamado a resolverlas.

Las cinco dificultades señaladas en el párrafo anterior fueron superados en el desarrollo del proyecto a través de las siguientes medidas respectivamente: a) implementación de una tabla de elementos del modelo que permita especificar el nivel de desarrollo como el nivel de información de los objetos/elementos del modelo; b) diseño de mapas de procesos de aseguramiento y control de calidad; c) se realizaron talleres de capacitación para el personal involucrado; d) se realizaron reuniones de trabajo colaborativo involucrando a las distintas disciplinas; e) requerimiento de licencia adicional, uso de entorno común de datos y visualización en la nube. Es importante señalar que estas medidas que buscaron superar las dificultades o barreras encontradas en el proceso de implementación pudieron ser implementadas en el marco del contrato colaborativo que se utilizó en este proyecto. Este último permitió contar con una apertura para mejorar procesos y el entrenamiento de las personas.

En este caso de estudio se implementó la herramienta denominada diseño basado en alternativas proveniente de la filosofía Lean. Estas alternativas de diseño se mostraron en modelos digitales con lo que se mejoraba la gestión visual promoviendo un mejor entendimiento de las diferentes alternativas. De acuerdo a lo detectado a través de las encuestas al equipo multidisciplinario del proyecto, se encontró que el 85% considera favorable la utilización de modelos digitales que permitan evaluar las diferentes alternativas de diseño que se plantean en el desarrollo del proyecto. Indican los encuestados que esta práctica favoreció a mejorar su entendimiento acerca de las 3 alternativas de diseño que proponía la parte designada. Por tanto, lean y la metodología BIM han tenido una sinergia positiva en la etapa de diseño que ha ayudado a tomar decisiones más informadas para la selección del diseño óptimo.

Se puede señalar que la mayor cantidad de dificultades encontradas y que se buscaron superar durante el desarrollo del diseño se centraron en primer lugar en la dimensión de “personas”, la tabla 2 señala que el 50% de las dificultades estuvieron relacionadas con esta dimensión. Por ello, es importante implementar una estrategia de gestión de cambio como la explicada en este caso de estudio que permita superar la resistencia al cambio y promueva un esfuerzo continuo del personal en búsqueda de la implementación de la gestión de la información bajo la metodología BIM. Además, del análisis de los tiempos de aceptación de los entregables del diseño (considerando todas las disciplinas) se ha encontrado que el promedio de retraso fue de 3 días, esta cantidad fue encontrada positiva respecto a los tiempos que los encuestados consideraban existieron en otros proyectos previos en los que formaron parte. El personal encuestado también destaca como positivo el desarrollo del diseño bajo un entorno de un contrato colaborativo que permita la flexibilidad en los cambios y la mejora continua.

Entre las recomendaciones para futuras implementaciones en los proyectos públicos de una Entidad Contratante se pueden señalar las siguientes: a) se requiere establecer claramente los requerimientos de información organizacionales (OIR), del proyecto (PIR) y del activo (AIR); b) es necesario que los entregables de la gestión de la información del proyecto bajo la metodología BIM también estén mapeados dentro del cronograma del proyecto, es decir se debe señalar hitos de entrega de información; c) se requiere mayor detalle en los atributos, metadatos e información que los objetos del modelo deben contener; d) desarrollar una integración BIM-GIS con el objetivo de obtener una cuenca digital e d) integrar la gestión de la calidad con el desarrollo del proyecto.

Referencias

- EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., y LISTON, K., (2011). *“BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designer, engineers, and contractors.* 2nd edition. Jhon Wiley & Sons.
- HILL,K., COPELAND,K.,PIKEL,C.,(2016). *“Target value delivering :Practioner guidebook to implementation”.* Lean Construction Institute, Virginia, USA.
- KOTTER, J. (1997). *“El lider del cambio”*, McGraw-Hill Interamericana Editores. México

International BIM toolkit (2020), Centre for Digital Built Britain. Cambridge University. <<https://www.cdbb.cam.ac.uk/AboutDBB/Promoting-digital-construction-Internationally/international-bim-toolkit>> [Consulta: 12 de enero de 2023]

International Organization for Standardization. (2018). ISO 19650-1: “Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles”.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 19650-2: “Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets”.

International Organization for Standardization. (2020). BS EN ISO 17412-1: “Building information modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and Principles”.

MIRNIAZMANDAN, S. (2021) ‘Proposal of a company BIM guide in alignment with ISO 19650’, Master thesis, University of Minho, Minho, Portugal.

TERROSI, G. (2020) ‘Guidelines for BIM information management at design stage’, Master thesis, University of Minho, Minho, Portugal.

UK BIM Framework (2022). “The overarching approach to implementing BIM in the UK”. <<https://www.ukbimframework.org/>> [Consultado: 10 de enero de 2023]

UK BIM Framework (2019). “ISO 19650 Guidance Part 1: “Concepts”. <<https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ukbimframeworkguidance/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>> [Consultado: 16 de enero 2023]

UK BIM Framework (2022). “ISO 19650 Guidance Part 2: “Delivery phase”. <<https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ukbimframeworkguidance/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>> [Consultado: 16 de enero de 2023]

UK BIM Framework (2021). “ISO 19650 Guidance Part A: The information management function and resources”. <<https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ukbimframeworkguidance/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>> [Consultado: 16 de enero de 2023]

UK BIM Framework (2020). “ISO 19650 Guidance Part B: Open data, buildingSMART and COBie”. <<https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ukbimframeworkguidance/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>> [Consultado: 16 de enero de 2023]

UK BIM Framework (2021). “ISO 19650 Guidance Part C: Facilitating the CDE (workflow and technical solutions”. <<https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ukbimframeworkguidance/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>> [Consultado: 16 de enero de 2023]

UK BIM Framework (2022). “ISO 19650 Guidance Part D: Developing information requirements”. <<https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ukbimframeworkguidance/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>> [Consultado: 16 de enero de 2023].

UK BIM Framework (2021). “ISO 19650 Guidance Part E: Tendering and appointments”. <<https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ukbimframeworkguidance/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>> [Consultado: 16 de enero de 2023]

UK BIM Alliance (2019): “Information management according to BS EN ISO 19650 Guidance Part 1: Concepts”. <https://www.ukbimalliance.org/wp-content/uploads/2019/04/Information-Management-according-to-BS-EN-ISO-19650_-_Guidance-Part-1_Concepts_2ndEdition.pdf> [Consultado: 16 de enero de 2023]

UK BIM Alliance (2021): “Information Protocol Guidance”. <<https://www.youtube.com/watch?v=Xkd2mq6iBSc>> [Consultado: 16 de enero de 2023]

EL BIM/SIG EN LAS CARRETERAS EN SERVICIO

Revuelta Coruña, Fco. Javier^a, Yarza Álvarez, Pedro^b, Vázquez Riera, Manuel^c

Revuelta Coruña, Fco. Javier^a. Ingeniero. BIM Manager, Director Máster BIM CICCP, Consultor Tecnológico en Alauda Ingeniería. jrevuelta@alaudaingenieria.es. Yarza Álvarez, Pedro^b. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Director Técnico Alauda Ingeniería S.A. Consultor Tecnológico. pyarza@alaudaingenieria.es. Vázquez Riera, Manuel^c. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. Director General de Alauda Ingeniería mvazquez@alaudaingenieria.es

Abstract

ALAUDA is executing the CONSULTING SERVICES AND TECHNICAL ASSISTANCE CONTRACT FOR THE DEFINITION AND DESIGN OF THE IMPLEMENTATION OF THE BIM METHODOLOGY ON ROADS IN SERVICE OF THE GENERAL DIRECTORATE OF ROADS (DGC) in which it is currently involved in developing the digital model of the highway (MDC) and linking it with the management systems (SSGG) of DGC/MITMA. New construction projects generate the BIM models that feed the MDC covering the entire life cycle of the asset (project, work and operation and maintenance).

For this, Alauda wants to show how we understand the MDC, represented in a custom-developed SIG, which contains the road center lines, their nomenclature, orthophotos, right of way videos (panoramic and 360°), point clouds and other data sets that provide information associated with the linear reference (location) to which each asset belongs.

From there, obtaining longitudinal and transverse profiles, analysis of slope, radius of curvature, georeferencing of plans of projects already carried out, linking with images of the real traffic situation, maintenance management, connection with multiple information sources provided by Official Organizations, etc. can be achieved

Keywords: GIS, ALAUDA, MITMA, BIM, Digital model of the road

Resumen

ALAUDA está ejecutando el CONTRATO DE SERVICIOS DE CONSULTORÍA Y ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA DEFINICIÓN Y DISEÑO DE LA IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LAS CARRETERAS EN SERVICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (DGC) en el que se encuentra implicado actualmente desarrollando el modelo digital de la carretera (MDC) y vinculándolo con los sistemas de gestión (SSGG) de la DGC del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). Los proyectos de obra nueva generarán los modelos BIM que alimentarán el MDC cubriendo todo el ciclo de vida del activo (proyecto, obra y explotación y mantenimiento).

Para ello Alauda quiere mostrar cómo entiende el MDC, representado en un SIG desarrollado a medida, que contiene los ejes, la nomenclatura de los mismos, las ortofotos, vídeos (panorámicos y 360°), nubes de puntos y mucha otra información asociada siempre, al punto kilométrico concreto al que cada activo corresponde.

A partir de ahí obtención de perfiles, estudio de pendientes, radios de curvatura, georeferenciación de planos de proyectos ya realizados, vinculación con las imágenes de la situación real del tráfico, gestión del mantenimiento, conexión con múltiples conjuntos de información ofrecida por diversos Organismos Oficiales y no oficiales, así como otra mucha información accesoria que pueda ser de utilidad.

Palabras clave: SIG, ALAUDA, MITMA, BIM, Modelo digital de la carretera

Presentación

ALAUDA INGENIERÍA, S.A. (en adelante ALAUDA) es una empresa con experiencia en trabajos de consultoría e ingeniería civil enfocados en la conservación y explotación de infraestructuras de transporte, principalmente carreteras. Acomete contratos de supervisión de proyectos de conservación. A parte de la supervisión de proyectos de obra civil para distintos organismos públicos y grandes empresas privadas, el ámbito de la actividad de ALAUDA se centra en la inspección y seguimiento de trabajos de conservación y explotación de autopistas, asesoramiento medioambiental, coordinación de seguridad y salud en obras y servicios de conservación, control y vigilancia de obras, redacción de proyectos, dirección de obra, inspecciones de puentes, asistencia técnica en túneles, auditorías de seguridad viaria y otros trabajos de ingeniería. Para la realización de todo ello, está especializado en el desarrollo de herramientas que faciliten su labor, como la que se va a mostrar.

Introducción

La Dirección General de Carreteras (DGC) del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, está en la línea de que el uso de la tecnología es una gran oportunidad para la gestión del ciclo de vida de las infraestructuras viales ya que permite hacer un mejor uso de las infraestructuras existentes, encontrando soluciones sostenibles de menor coste tanto para el usuario como para la Administración.

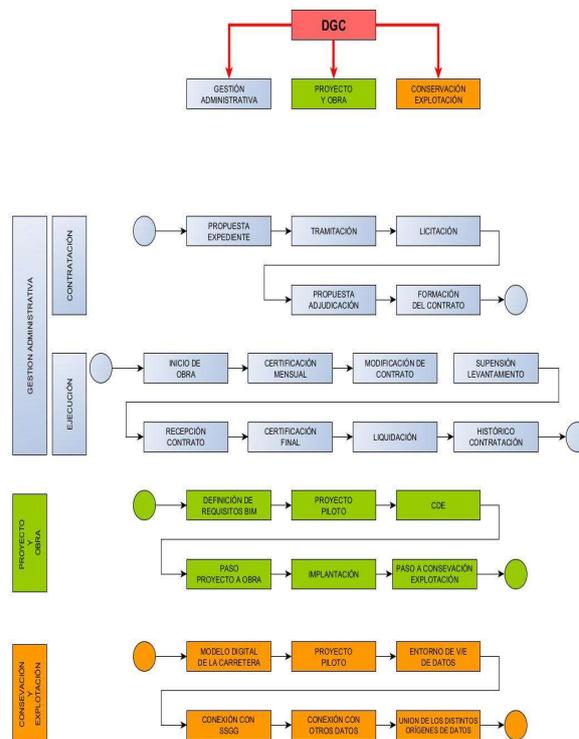


Fig. 1 Áreas de la DGC y su desarrollo. Fuente: Elaboración propia

En este sentido, ALAUDA está ejecutando el CONTRATO DE SERVICIOS DE CONSULTORÍA Y ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA DEFINICIÓN Y DISEÑO DE LA IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM EN LAS CARRETERAS EN SERVICIO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS en el que se encuentra implicado actualmente desarrollando el modelo digital de la carretera (MDC) y vinculándolo con los sistemas de gestión (SSGG) del MITMA. Los proyectos de obra nueva generan os modelos BIM que alimentan el MDC cubriendo todo el ciclo de vida del activo (proyecto, obra/explotación y mantenimiento).

Para entender esta comunicación hay que conocer el ámbito de la DGC, y dónde nos vamos a centrar.

La digitalización de la DGC contempla las siguientes tres áreas principales:

- Gestión administrativa
 - Gestión de la contratación
 - Gestión de la ejecución
- Proyecto y obra
- Conservación y explotación

El objetivo final es mejorar las tareas llevadas a cabo en estos ámbitos mediante la digitalización de los procesos y promover la integración de las labores en las tres áreas descritas.

1. Estrategia de explotación y mantenimiento

Llegado a este punto, la forma que tiene ALAUDA de entender el modelo digital de la carretera (MDC), se define como el conjunto de los ejes y su nomenclatura, las nubes de puntos, las ortofotos y las imágenes 360. Este modelo será la base común del MDC de la DGC, y en el que se plasmarán los datos de los actuales y múltiples sistemas de gestión (inventario, señalización, puentes, firmes, túneles...). También será donde se muestren los datos provenientes de otros sistemas estáticos de la DGC o de otros agentes externos, ya sean datos dinámicos o estáticos.

Todo ello se mostrará en un entorno de visualización y/o explotación.

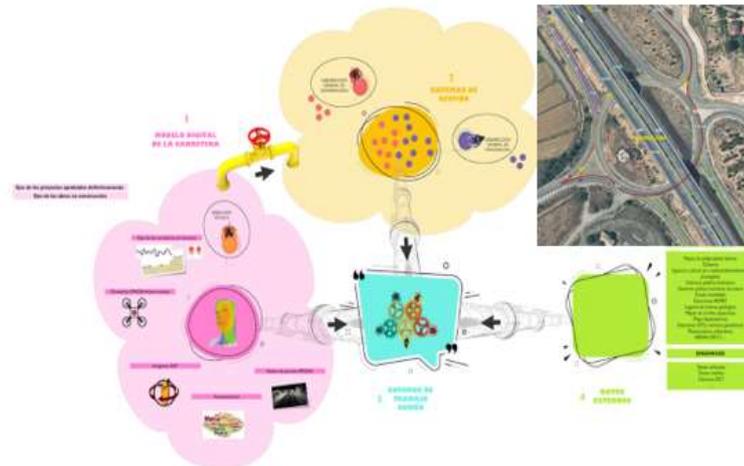


Fig. 2 Componentes del MDC/Representación en el SIG. Fuente: Elaboración propia

2. BIM en las Carreteras en Servicio

Partimos de la premisa de que el “BIM de una red de carreteras” es distinto a el “BIM de un tramo/proyecto/obra”.

Vamos a ver un SIG, es decir unos contenedores geométricos de información (ejes claramente definidos con unos criterios normalizados y nombrados de una manera sistemática) al que se asociarán la información a consultar. Nuestra filosofía es: ¿Por qué voy a modelar todo el detalle de la obra civil si tengo la realidad? El modelo es necesario cuando no existe dicha realidad, pero en la conservación de una red de carreteras la realidad ya existe y los sistemas de gestión de esa realidad, también.

Por tanto, se va a plantear:

- Una metodología de trabajo colaborativo
- Una maqueta digital para todo el ciclo de vida
- No veremos un modelo 3D de la carretera, pero lo suplimos con imágenes y nube de puntos

La cantidad de kilómetros de carretera que se ejecutan y ponen en servicio al cabo del año, es muy pequeña en comparación a los 27.000 kilómetros totales que gestiona la DGC. Estos proyectos tendrán un

desarrollo BIM representado en un modelo 3D que contendrá información necesaria. Los modelos obtenidos serán vinculados en el SIG, para su consulta en visores asociados.

3. Entorno de Visualización y/o explotación de la información

Una vez que hemos ubicado el ámbito en el que nos encontramos, vamos a ceñirnos a la herramienta de visualización y explotación de datos, como repositorio de información que llega al usuario final.

Hay que tener en cuenta que estamos en desarrollo de la herramienta y que el entorno final, estará particularizado y mejorado para la DGC a partir de la plataforma que mostraremos.

3.1. Objetivos de la Plataforma de visualización

*Todos los puntos que hacen referencia a la aplicación estarán avalados por una demostración práctica sobre el sistema

- Software de desarrollo propio basado en herramientas de código libre (tanto a nivel SIG como a nivel de base de datos) para la visualización y consulta de información
- Contenedor único de lectura y visualización de información de distintos orígenes de datos y formatos:
 - Aquellos de generación propia
 - Nube de puntos, vídeos georreferenciados, panorámicas 360...
 - Carga de datos oficiales
 - Servidores WMS (web map services)
 - Conexión con sistemas de gestión de la DGC
 - Modelos BIM
 - ...
- Explotación de esos datos según se comenta con posterioridad

3.2. Generalidades del Sistema

3.2.1. Entorno de trabajo fácil y accesible a todos los usuarios con distintas funcionalidades en función de su rol y los permisos que tenga asignados.



Fig. 3 Visualización general del sistema de gestión. Fuente: Elaboración propia

3.2.2. La gestión de capas seleccionadas

Permite múltiples opciones (consultas, filtros, distintos tipos de visualización, transparencia, prioridad...). Las capas pueden ser de creación propia, importadas de otros agentes o leídas de servidores de datos de los distintos Organismos/Administraciones que sirven dicha capa (en este sentido, si la información no está operativa en algún momento, no se cargará en el sistema por motivos ajenos a la herramienta). A día de hoy hay más 400 capas cargadas en el sistema (reservas de la biosfera, catastro, mapas de ruido, riesgos de inundación, túneles...).

Algunas capas tienen información asociada en forma de PDF u otros formatos y otra información propia de los elementos que contiene.

3.2.3. Fondos o distintas formas de acceder a la información base

Los fondos son una serie de capas que por sus especiales características sirven de referencia para el resto de las capas de información. Se puede jugar con su transparencia, incluso superponer distintos fondos.

3.2.4. Herramientas

El entorno de visualización y explotación dispone de una barra de herramientas. Estas herramientas, permiten las siguientes funcionalidades:

A nivel general comentar que estas herramientas permiten:

- Búsquedas geográficas con distintos criterios y sobre múltiples capas
- Conexión con el Google Street View y/o con Google Earth
- La herramienta a la que denominamos “mis ojos”, permite enviar un vínculo a la plataforma con la visualización (consultas, capas, zoom...), que se tiene configurada en ese momento.
- Herramientas de navegación (encuadre, zoom +, zoom -, zoom anterior...)
- Utilidades de medición (longitudes, áreas, ángulos, radios, buffers...). Algunas de ellas, son muy utilizadas en el mundo de la ingeniería civil dentro de la especialidad de las carreteras.

3.3. Opciones avanzadas

3.3.1. Georreferenciación de proyectos

Utilidad que permite la georreferenciación de archivos PDF de proyectos realizados, sobre la información que se dispone en el SIG. Esta utilidad surge por una necesidad propia del día a día del trabajo del área de

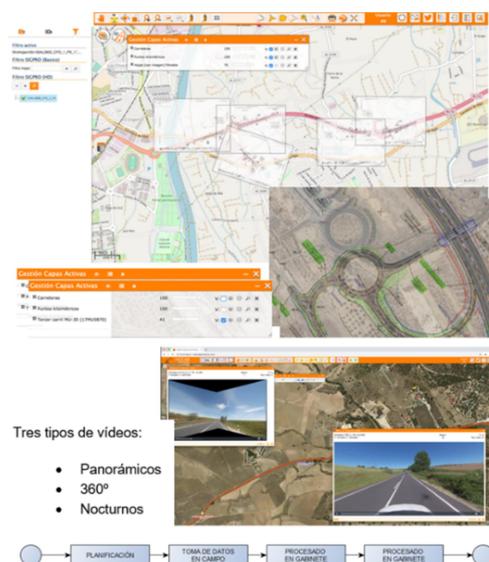


Fig. 4 Utilidad de georreferenciación de PDF's y de vídeos. Fuente: Elaboración propia

supervisión de proyectos. Algo a destacar es posibilidad de jugar con la transparencia de las hojas georreferenciadas.

3.3.2. Visualización de vídeos georreferenciados e imágenes panorámicas

El visor de los vídeos cuenta con las siguientes posibilidades:

- Marcadores
- Guardado de marcadores
- Elección de video panorámico, 360° o nocturno
- Descarga de imágenes
- Modificación de la velocidad de reproducción
- Orientación de la cámara/punto de vista para las imágenes de 360°

3.3.3. Carga, visualización y explotación de nubes de puntos

Las nubes de puntos con independencia de su origen (escáner, dron, “mobile mapping”, PNOA...) son tratadas en un proceso piramidal con el fin de que puedan ser manejadas con mayor facilidad. De esta forma conseguimos que se muestren distinta densidad de puntos en función del zoom que se necesite.

Estas nubes de puntos permiten, en una aplicación que se arranca e interactúa con el sistema, visualizar el modelo 3D de la carretera, pudiendo adquirir mediciones, taludes, perfiles...

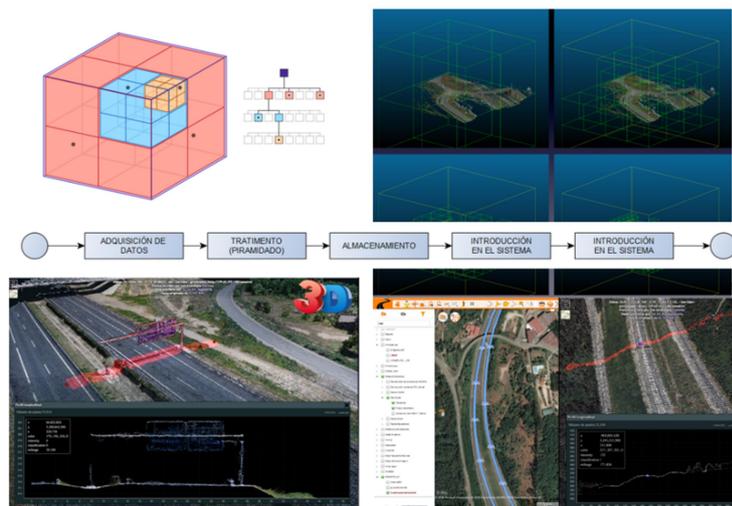


Fig. 5 Nube piramidada. Perfiles y mediciones a partir de la nube. Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Obtención de perfiles en la aplicación a partir de la nube de puntos subsidiaria

- La calidad del perfil obtenido dependerá de la calidad la densidad de la nube de puntos
- Obtención de pendientes y distancias

3.3.5. Obtención de datos meteorológicos (AEMET)

La Agencia Estatal de Meteorología proporciona datos de forma estandarizada los cuales después de que los procesamos, los mostramos dentro de la Plataforma.

3.3.8. Acceso a cámaras con diversos propósitos

Posibilidad de conectar con cámaras reales dispuestas sobre la carretera y acceder a la visualización de lo que está sucediendo en directo en cada momento. Esto posibilita poder tomar decisiones sobre la situación real del tráfico.

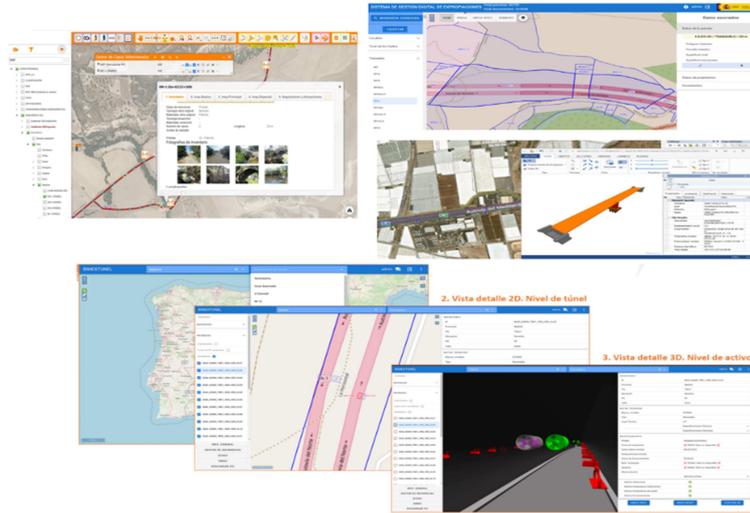


Fig. 8 SSGG Puentes, utilidad de expropiaciones e integración BIM. Fuente: Elaboración propia

3.3.9. Conexión con sistemas de gestión de la DGC

En el caso del MITMA hay muchos SSGG entre los que destacan el de puentes, el de inventario (Terex), el de señalización, el de túneles, el de firmes... a los cuales nos conectamos/conectaremos.

3.3.10. Gestión de áreas de expropiación

Utilización de los servicios de catastro para interceptar con el área expropiada obteniendo el área de expropiación, los datos de la parcela además de la asociación de toda la documentación del expediente.

3.3.11. Integración de modelos BIM

Para todos los proyectos nuevos se definen unos requerimientos de la DGC, generando un modelo BIM, que servirá para el control de la obra. Estos modelos BIM se pueden visualizar desde visores gratuitos que se lancen desde el Sistema.

4. Conclusiones

Desde ALAUDA pensamos en la gestión de las carreteras como algo macro ya construido, donde la obtención y utilización de unos ejes georreferenciados y con una nomenclatura determinada, hacen de contenedor de información de "nuestro BIM", de conservación.

El reto es la georreferenciación de todas las carreteras, de todos los elementos de la carretera, de todos los incidentes ocurridos en las mismas, de todas las zonas con características significativas para su diseño, construcción, conservación y explotación.

Lo que se ha buscado con este entorno, es aunar toda la información dispersa, inexistente y prácticamente en formatos difícilmente tratables. Esto hace que se no se pierda un valiosísimo tiempo en recopilar información, tiempo que se dedica a analizar y estudiar la misma, mejorando con ello nuestros proyectos, informes, estudios y en definitiva, nuestra productividad, y con ello, nuestras carreteras.

Esta herramienta es utilizada en el día a día dentro de nuestro entorno de trabajo para realizar labores como el control y supervisión de proyectos y obras, sistemas de gestión, inventario y auditoría de infraestructuras lineales, zonas verdes, aguas y desarrollos para la mejora de la seguridad vial. Por tanto, la plataforma proporciona un sistema de gestión integral de la información geográfica en el ciclo de vida de las redes de carreteras.

El objetivo es que con unos toques de ratón sea posible visualizar casos como los accidentes producidos en los últimos años en glorietas, conocer los choques por alcance ocurridos en tramos en rapa, localizar las estructuras con vanos superiores a 100 m, los tramos urbanos de autovía con mayores problemas de ruido, las intersecciones en T con IMD superior a 5000... y con ello mejorar nuestras carreteras en su diseño, su construcción, su conservación y su explotación.

La herramienta está en continua evolución según surgen nuevas necesidades, adaptándola a las necesidades reales de gestión de una red de carreteras.

Referencias

Europa. *Directiva Europea INSPIRE (Directiva 2007/2/CE)*, 14 de marzo de 2007, p.14

España. *Introducción a las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)*, 2014, p.418

España. *Ley 14/2010 sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España*, 5 de julio de 2010, núm. 163, p.26

España. *Real Decreto 1071/2007, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España*, 27 de julio de 2007, páginas 35986 a 35989

España. *Ley 37/2007 sobre utilización de la información del sector público*, 16 de noviembre del 2007, núm. 276, p.17

A MANCINI, E FRONTONI - AND EMBEDDED SYSTEMS "Automatic road object extraction from mobile mapping systems" <<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>> [2019]

B YANG, L FANG, Q LI, J LI. "Photogrammetric Engineering & Automated extraction of road markings from mobile LiDAR point clouds". <<https://www.ingentaconnect.com/>> [2021]

C. SOTOMAYOR MARTÍNEZ. *Una arquitectura para la gestión de información georreferenciada con integración de datos masivos: aplicaciones ITS*. <<https://digitum.um.es/digitum/>> [agosto de 2019]

". <<https://revistas.unal.edu.co/>>. [2020]

IDEA. "Coordinador y operador del Portal de la Infraestructura de Información Geográfica de España" <<http://www.idee.es>> [2018]

PROC. OF UBICOMM. *Smart Road Sense": Collaborative Road Surface Condition Monitoring*. <<https://www.researchgate.net/>> [2020]

NS SAAVEDRA - INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN. "Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones

TAYLOR & FRANCIS. *Georeferencing. A review of methods and applications*. <<https://www.tandfonline.com/>> [2022]

MCKENNA.J, FAWCETT.D, BUTLER.H (2020). *Map Server Documentation Release 7.6.1*. The Map Server Team.

BELL.A, CHAMBERS.B, BUTLER.H, GERLEK.M (2021). *PDAL: Point cloud Data Abstraction Library Release 2.2.0*

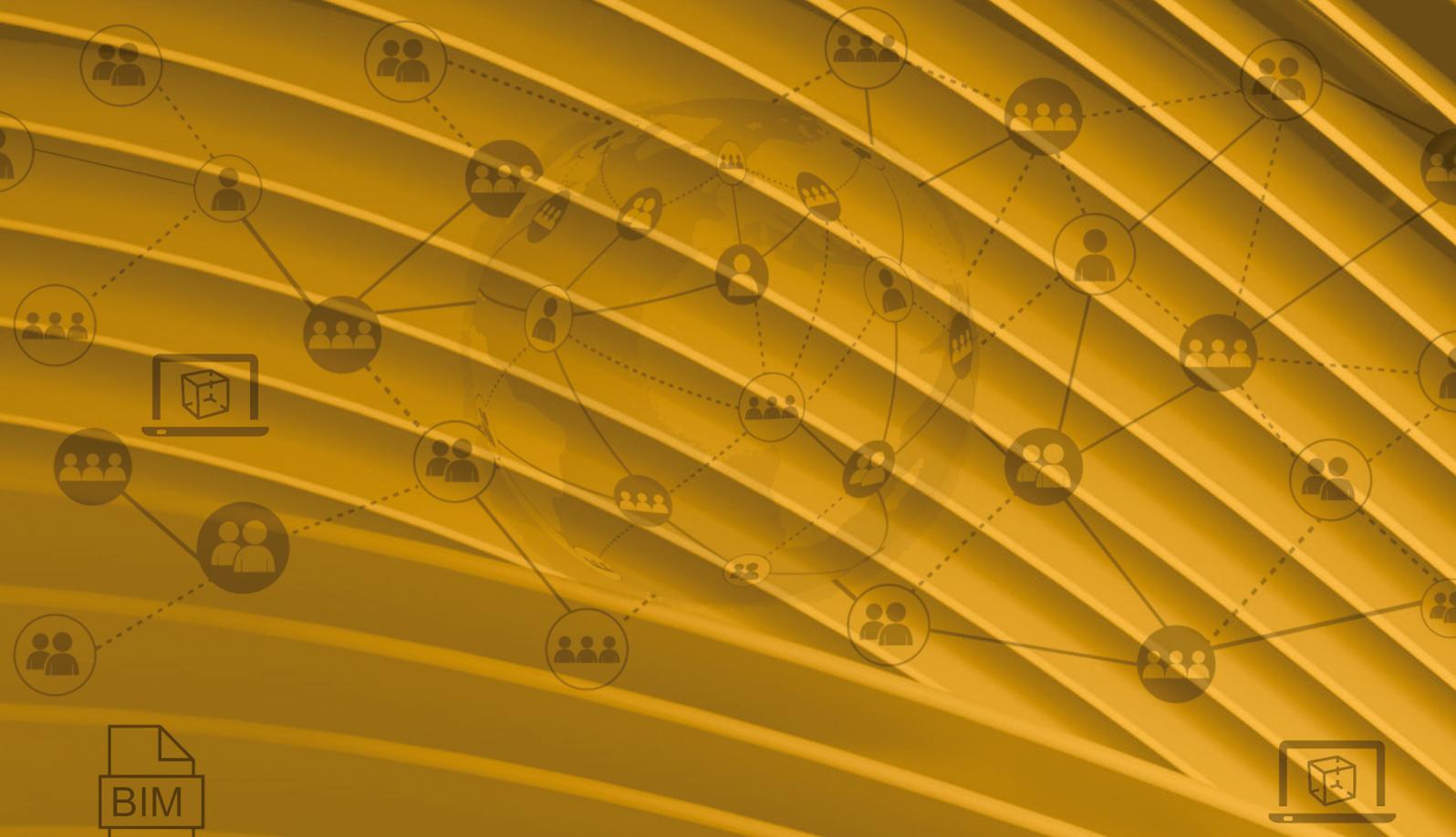
RODRÍGUEZ MARÍN.R, OBE.R, PRLIASKOUSKI.D, RAMSEY.P, SANTILLI.S, AVÉN.N, BASTON.D, DAVIS.M (2022). *PostGIS3.1.3dev Manual*.

DEVELOPMENT GROUP (2022). *PostgreSQL 13.7 Documentation*

EUBIM 2023

12º Encuentro de Usuarios BIM

BIM INTERNATIONAL CONFERENCE



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Universitat Politècnica de València